

PHYSIOLOGISCHE STUDIEN.

VON

Dr. RUDOLF HEIDENHAIN.

MIT DREI LITHOGRAPHIRTEN TAFELN.

BERLIN, 1856.
VERLAG VON AUGUST HIRSCHWALD.

Inhalt.

An Stelle der Vorrede.

Die Physiologie löst ihre Aufgabe, die Verrichtungen der einzelnen Organe des thierischen Leibes und ihren functionellen Zusammenhang aufzuklären, um daraus das Phänomen des leiblichen Lebens abzuleiten, auf doppeltem Wege: sie erforscht den Ablauf des animalischen Geschehens erstens unter den von der Natur gesetzten, zweitens unter künstlich eingeführten neuen Bedingungen. Die letztere Methode, das Experiment, ist eine nothwendige Ergänzung der ersteren, der Beobachtung, und die möglichst vielseitige Benutzung derselben wird zu einer um so dringenderen Pflicht, als die Physiologie durch die Natur ihres Gegenstandes anderen Naturwissenschaften gegenüber in ihren Forschungen ausserordentlich beeinträchtigt ist. Die Physik und Chemie z. B. richten wenigstens zum grossen Theile ihre Untersuchungen auf Objecte, die innerhalb gewisser Grenzen nur relativ geringe Schwankungen ihrer Eigenschaften erfahren, Schwankungen, welche durch Vorsichtsmaassregeln beim Experimentiren oft verhindert oder wenigstens verringert, zum Theile controllirt und beim Aufstellen der Resultate mehr oder weniger strenge mit in Rechnung gezogen werden können.

So gut ist es der Physiologie nicht zu Theil geworden. Ihr liegt ein in der Zeit sehr schnell nach unbekanntem Gesetze Variabeles zur Untersuchung vor. Nur selten können die Veränderungen einer, immer nur unbefriedigenden, Controlle unterworfen, fast nie ihr Einfluss auf die Resultate mit Genauigkeit geschätzt werden. Es wird der Physiologie daher, wenn sie Theile vom Organismus trennt, um sie unter dem Einflusse wechselnder äusserer Bedingungen auf ihre Leistungen zu untersuchen, nicht selten der Vorwurf gemacht, sie lerne nur Trümmer des zum Zwecke ihres Experimentes verwüsteten Lebens kennen, nicht das Leben selbst. Vielleicht oft wahr! Doch darf uns das in der Methode der Untersuchung nicht beirren. Wer die Leistungen einer Maschine kennen und erklären will, muss sich zuerst über die Eigenschaften ihrer einzelnen Theile, losgelöst vom Ganzen, möglichst allseitig unterrichten. Es wird ihm förderlich sein, alle irgend möglichen Veränderungen der einzelnen Theile kennen zu lernen und an ihnen nicht bloss die Eigenschaften zu studieren, welche auf den ersten Anblick beim regelmässigen Gange der Maschine allein in Betracht zu kommen scheinen, sondern auch solche, deren Beziehung zum Mechanismus des Ganzen zunächst nicht direct in die Augen springt. Denn schliesslich ist jede Leistung irgend eines Theiles bedingt durch das Zusammenwirken aller, in ihm thätigen und von aussen her auf ihn einwirkenden, Kräfte. Sie ist eine ihrer Natur nach unbekannte Function einer Reihe von Variabeln, und wenn es nun Aufgabe ist, die Natur dieser Function zu bestimmen, so kann die Lösung nur so versucht werden, dass wir diejenigen Variabeln, deren Veränderung in unserer Hand liegt, eine nach der andern sich nach willkürlich bestimmtem und deshalb bekanntem Gesetze ändern lassen, um die daraus resultierenden jedesmaligen Aenderungen der Function zu beobachten. Lei-

der giebt es immer eine andre Reihe von Variabeln, die wir nicht näher kennen und nicht willkürlich verändern können. Sie sind es, deren Natur schliesslich zum Inhalte einer Hypothese wird, und gestützt auf diese einerseits, auf die beobachtete Aenderung der Function, welche bei entsprechenden bekannten Veränderungen der willkürlich Varibeln eintritt, andrerseits, kommen wir dann zu einem Ausdrucke für die Natur der Function, der so lange Gültigkeit hat, als alle beobachteten Veränderungen der Function sich aus ihm ableiten lassen. Um ein concretes Beispiel aus dem Gebiete der Physik anzuführen: Man weiss, dass eine und dieselbe electromotorische Kraft, also z. B. eine und dieselbe Voltaische Batterie, Ströme von sehr verschiedener Stärke hervorbringen kann, je nach den Dimensionen und der Natur des Leiters, durch welchen ihre Pole mit einander in Verbindung stehen. Wie kann man zu einem allgemeinen Gesetze gelangen, durch welches die verschiedenen Stromstärken bestimmt werden? Nur so, dass man die willkürlich Variabeln nach einander auf bekannte Weise ändert und den Einfluss dieser Aenderung auf die Stromstärke ermittelt. Als solche willkürlich Variabeln bieten sich dar: 1. die Länge des schliessenden Leiters, 2. sein Queerschnitt, 3. seine chemische Constitution. Jede dieser Variabeln kann ceteris paribus geändert und die Stromesintensität als Function derselben bestimmt werden. Man sieht aber, dass eine gleiche Aenderung des schliessenden Leiters bei verschiednen Stromesquellen durchaus verschiedne Effecte hervorbringt. Um den Einfluss der electromotorischen Kraft kennen zu lernen, lässt man den schliessenden Leiter ungeändert und variirt die Zahl der Elemente der Batterie, ihre Dimensionen u. s. f. So kommt man, indem man jede einzelne Bedingung ändert, während die übrigen dieselben bleiben, zuletzt durch Combination der Resultate dazu, die Natur der Function,

nach welcher sich die Stromesintensität mit den Elementen des Stromkreises ändert, in der Weise zu bestimmen, wie sie die berühmte Ohm'sche Formel ausspricht: $S = \frac{E}{W}$.

Wie hier die Physik durch methodische Untersuchung nach einem bestimmten logischen Gange zu einem Gesetze gelangt, das alle früheren voreiligen Hypothesen über specifische Verschiedenheit der Ströme (Quantitäts- und Intensitätsströme) u. s. w. beseitigt und mit einem Schlage alle verschiedenen, vorher so räthselhaften Erscheinungen erklärt, so will, wenn anders ich ihre Tendenz recht verstehe, die physikalische Untersuchungsmethode in der Physiologie die Gesetze, durch welche die Leistungen der einzelnen Organe des thierischen Körpers bestimmt werden, dadurch ermitteln, dass sie, so weit möglich, jede einzelne der für die Leistung in Betracht kommenden Bedingungen für sich ändert, die daraus hervorgehende Aenderung der Leistung bestimmt, und zuletzt die Resultate zu einem allgemeinen Schlusse zu combiniren sucht. Ich glaube nicht zu irren, wenn ich gerade in dieser Methode der Forschung das suche, was die Arbeiten der physikalischen Schule wesentlich charakterisirt. So Viele, denen die Physiologie nothwendige Hülfswissenschaft für practische Zwecke ist, ja gar Manche von denen, die sich unter ihre Bearbeiter und Förderer zählen, misskennen durchaus die Bedeutung der physikalischen Physiologie, von der in der neuern Literatur so viel die Rede ist. Sie sucht, meiner Ansicht nach, das, was sie von früheren Richtungen der Wissenschaft wesentlich unterscheidet, nicht, wie es eine ebenso oberflächliche als leider häufige Anschauung ist, in der Art der experimentellen Hülfsmittel, noch weniger in einer nicht selten auf geschmacklose Weise künstlich präcisirten Darstellungsform, welche eine oft sehr missglückte Annäherung an die prägnante Kürze mathe-

matischer Darstellung sein soll und deshalb häufig ganz ohne Noth mit einem Gewande mathematischer Formeln umkleidet wird. Mit complicirt aussehenden physikalischen Apparaten und mathematischen Formeln lässt sich viel werthlose Spielerei treiben und unter scheinbar „exacter“ Form grosse Lockerheit der Gedanken, Uebereilung in Voraussetzungen und Folgerungen, freilich nur mühsam und nicht auf lange, verstecken. Diese Aeusserlichkeiten, ein oft an den Haaren herbeigezogener Prunk, machen wahrlich nicht das Wesen der physikalischen Physiologie aus; sie sind wenig geeignet, der Wissenschaft Anhänger und Freunde zu erwerben, deren sie zu ihrer Fortentwicklung so sehr bedarf. Was die moderne Schule der Physiologie zu erreichen strebt, ist eine möglichste Annäherung an die Methode der Mathematik, die von allen Wissenschaften allein mit unerbittlich logischer Consequenz nur von Bekanntem und Bewiesenem ausgeht, um das Unbekannte zu finden und seinen Zusammenhang mit dem Bekannten zu ermitteln; und sie sucht diese Annäherung dadurch zu erstreben, dass sie, statt nach einer leider noch häufig genug geübten Weise unbewiesene Hypothesen aufzustellen und mit Hülfe derselben eine, wohl in der Natur gar nicht vorhandene, sondern ihr aufgedrungene und völlig fingirte Gesetzlichkeit mit scheinbarer Schärfe zu begründen, lieber über die ihr vorliegenden Unbekannten von vornherein Nichts aussagt, sondern eine derselben nach der andern unter möglichst einfachen und deshalb möglichst wenig irre leitenden Bedingungen experimentell untersucht, um so allmälig, wenn auch mühevoll, doch sicher zur Kenntniss einer jeden und zur Erklärung des Zusammenwirkens derselben zu gelangen.

Die Mittel, durch welche das Ziel erstrebt wird, sind ihr, die Zuverlässigkeit derselben und die sichere Herrschaft

über dieselben vorausgesetzt, alle gleich werth. Sie schätzt das Microscop, welches die Zelle als das Urelement jedes organischen Baues kennen lehrte, nicht weniger als den Multiplicator, dessen Nadelpaar die geahnte Anwesenheit electrischer Ströme in Nerv und Muskel erwies; sie begrüsst mit derselben Freude die chemische Titrirmethode, welche der Lehre vom Stoffwechsel einen neuen Aufschwung verspricht, als die ophthalmoscopische Untersuchungsmethode, welche auf den dunkeln Grund des Auges und zugleich auf viele dunkle Fragen der physiologischen Optik ein helles Licht warf. Denn sie ist gekettet nicht an die Mittel der Untersuchung, nicht an ihre Form, sondern an ihre Methode, die für sie ein unveräusserliches Princip geworden ist und, hoffen wir es zum Besten der Wissenschaft, noch in immer weiteren Kreisen werden wird. —

Dass selbst bei Beantwortung einfacherer Fragen in der Physiologie das Experiment allein die entscheidende Instanz ist, von welcher oft scheinbar sehr plausible Hypothesen gegen die Erwartung umgestürzt werden, dafür werden uns täglich neue Beweise. So zeigt es die Lehre vom Muskeltonus. Ich habe eine Experimentalkritik der Tonusfrage unternommen und die Resultate derselben in einem Aufsatze am 1. October 1855 der Redaction des Archiv's für Anatomie und Physiologie übergeben. Da diese Arbeit, bis zur Abgabe des Manuscriptes der vorliegenden kleinen Broschüre an den Verleger (Mitte März 1856) in dem Archiv noch nicht ausgegeben, in Zusammenhang mit zwei andern Arbeiten steht, welche ich im Folgenden mitzutheilen mir erlaube, so habe ich dieselbe als ersten Artikel dieser Studien noch einmal abdrucken lassen, mit einigen mehr formellen Abänderungen und namentlich mit Hinzufügung der Zeich-

nung des Apparates, welcher bei jener Arbeit wie bei den zwei folgenden zur Erlangung der Resultate diente.

Durch die Arbeit über Muskeltonus wurde mir das Studium der Muskelelastizität näher an's Herz gelegt und die Anregung zur experimentellen Untersuchung eines Punctes aus den hier einschlagenden Versuchen Ed. Weber's gegeben: Die negativen Resultate meiner Versuche enthält Artikel II.

Eine während der letzterwähnten Versuche zufällig gemachte Beobachtung führte mich zu der längeren Arbeit, welche der III. Artikel enthält. Er behandelt eine Wirkung constanter galvanischer Ströme auf die Muskeln, welche nach Allem, was wir bisher von diesen Strömen wissen, kaum erwartet werden durfte. Denn die Untersuchungen, welche Valentin und Eckhard über den Einfluss constanter galvanischer Ströme auf die motorischen Nerven anstellten, veranlassten letztere Forscher, die constanten Ströme im Allgemeinen als lähmende zu bezeichnen, — obgleich freilich Eckhard selbst das Recht zu dieser Bezeichnung sich durch seine neuere Entdeckung vergeben hat, dass nämlich jenseits der negativen Electrode eines constanten Stromes, der in absteigender Richtung durch einen motorischen Nerven geht, die Erregbarkeit gesteigert ist. Wie wenig in der That der constante Strom durch das Prädicat „lähmend“ in seiner Wirkungsweise allgemein charakterisirt wird, das wird sich aus den Experimentalresultaten des dritten Aufsatzes ergeben.

In einem vierten Artikel erlaube ich mir eine neue Methode, motorische Nerven auf mechanischem Wege in starken und dauernden Tetanus zu versetzen, bekannt zu machen.

Eine kurze vorläufige Mittheilung der Ergebnisse der Artikel II. III. und IV. wurde durch Herrn E. du Bois-Reymond der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin in ihrer Sitzung vom 28. Februar 1856 vorgelegt.

Den 12. März 1856.

Erster Artikel.

Historisches und Experimentelles über Muskeltonus.

(Hierzu Tab. I und II.)

Es gereicht jeder Wissenschaft zum grössten Nachtheile, wenn in dieselbe Ausdrücke sich einschleichen, deren Bedeutung nicht strenge festgestellt ist. Lockere Begriffe haben lockere Schlüsse zur nothwendigen Folge. So entsteht daraus im Laufe der Entwickelung der Wissenschaft ein Gewebe von Irrthümern, die unmerklich mehr und mehr festen Fuss fassen und um so schwerer erkannt und ausgerottet werden, als spätere Generationen der Gelehrten leicht die Anschauungen früherer ohne gründliche Kritik in sich aufnehmen, besonders solche, die unter der Form vieldeutiger Ausdrücke weite Verbreitung in der täglichen Sprache der Wissenschaft, aber dennoch für den genauer Prüfenden ein nur zweifelhaftes Bürgerrecht erlangt haben. Mit Wörtern, denen nicht durch allgemeines Uebereinkommen eine feste Bedeutung gegeben ist, schaltet Jeder nach Belieben. Jeder legt ihnen einen ihm bequemen Sinn unter, ohne sich der Willkürlichkeit seiner Interpretation bewusst zu sein. Zuletzt weiss Niemand mehr klar, was Andere unter demselben Ausdrucke verstehen, und es entspinnen sich unfruchtbare Debatten über Worte, nicht über feste, reale Begriffe.

Die Physiologie und Pathologie sind leider nicht arm an dergleichen Erfahrungen. Es hätten der Nervenphysiologie viele Controversen erspart werden können, wenn der Begriff

„Centralorgan" stets auf dieselbe Weise definirt worden wäre. Die „Reize" haben zu manchem Streite Anlass gegeben, der wenig mehr als ein Wortstreit war. So ist auch der „Tonus" seit lange Gegenstand einer zum Theile sehr unfruchtbaren Discussion gewesen. Der Pathologie war es lange Zeit möglich, mit Hülfe der Worte „Tonus" und „Atonie" sich auf bequeme Weise einer schärfern Begriffsbestimmung von körperlichen Zuständen zu entbinden, deren wesentliche Bedeutung und wesentlichen Grund sie zu erkennen nicht vermochte oder wenigstens sich nicht die Mühe nahm. Erst in neuerer Zeit hat die Debatte angefangen eine fruchtreichere zu werden, weil man feste Bestimmungen gab. Die Parteien haben jede den von ihr angenommenen Tonus definirt und die Realität des von ihr aufgestellten Begriffes zu beweisen gesucht. Doch ist der Beweis bisher auf dem allein möglichen experimentellen Wege von keiner Seite zu Ende geführt, es ist den Physiologen und Pathologen noch von keiner Partei durch unwidersprechliche Argumente, d. h. durch nur einer Deutung fähige Thatsachen, die Nöthigung auferlegt, sich für ihre Ansicht zu entscheiden.

Ich habe mich bemüht, durch Versuche den Werth der von den verschiedenen Ansichten für sich aufgestellten Gründe zu ermitteln, und werde diese Experimente im Folgenden mittheilen. Zuvor wird es nöthig sein, die Frage, um die es sich handelt, nochmals zu fixiren. Zu diesem Behufe versuche ich eine kurze historische Darstellung der Ansichten, welche früherhin über die wichtigeren zum Bereiche der Tonusfrage gehörigen Thatsachen aufgestellt worden sind; um so lieber, als ich beim Studium der einschlagenden Literatur gefunden habe, dass Manches neuerdings als neu Betrachtete schon früheren Physiologen fast vollständig bekannt und geläufig war. Es sind die Anschauungen der letztern, wie es scheint, vergessen worden, um durch Gelehrte unserer

Zeit, die offenbar unabhängig von jenen arbeiteten, von Neuem in die Wissenschaft mit grösserer Aussicht für ihr Fortbestehen wieder eingeführt zu werden.

Historisches.

Schon Galen in seiner Schrift: περι μυῶν κινήσεως [1]) spricht von einem „τόνος“ [2]) und kennt tonische Bewegungen [3]). Er versteht unter diesen willkürliche, längere Zeit dauernde Muskelcontractionen, die er als eine Reihe so schnell auf einander folgender Einzelcontractionen ansieht, dass die Muskeln, obgleich in thätigem Zustande, zu ruhen scheinen. So seien die Muskeln einer ausgestreckt gehaltenen Hand in tonischer Action begriffen, obwohl die Hand unbewegt scheine. Der τόνος selbst aber ist die den Muskeln durch psychischen Impuls vermittelst der Nerven mitgetheilte Spannung. In Galen's Sinne ist das Wort Tonus später nicht mehr gebraucht worden. Höchstens den Ursprung „ἐξ ἐγκεφάλου ἢ νωτιαίου“ [4]) hat jener Tonus mit dem mancher Physiologen unseres Jahrhunderts gemein, die darunter ebenfalls eine von den Centralorganen abhängige, aber ununterbrochen andauernde und unwillkürliche Muskelcontraction geringen Grades verstanden.

Die Erscheinungen, welche zur Annahme eines Tonus in letzterem Sinne führten, z. B. die Verkürzung eines an einem oder an beiden Insertionsenden losgelösten Muskels [5]), die permanente Contraction eines Muskels nach Durchschnei-

---

1) Medicorum Graecorum opera quae exstant. Edit. cur. C. G. Kühn. Vol. IV.

2) l. c. pg. 369, 402 etc.

3) l. c. pg. 400.

4) l. c. pg. 369.

5) l. c. pg. 391.

dung seines Antagonisten [1]), die continuirliche, auch im Schlafe anhaltende Thätigkeit der Sphincteren [2]), alle diese Erscheinungen kannte und überlegte Galen sehr wohl. Die ersteren erklärte er durch eine eigenthümliche, den Muskeln angeborne Kraft, sich in sich zu contrahiren [3]) die ununterbrochen thätig ist [4]), und deren gleichzeitiger Action in den Antagonisten die Glieder ihre mittlere, etwas gebeugte Stellung in der Ruhe verdanken. Dass diese Kraft von den Nerven unabhängig ist, erklärt zwar Galen nirgends direkt, doch geht es aus dem ganzen Zusammenhange auf das Bestimmteste hervor, dass er sie für unabhängig von ihnen hielt. Denn einmal demonstirt er sie auch an todten Thieren. Ferner erklärt er sich das Zustandekommen willkürlicher Bewegung an ruhenden Gliedern, deren gleich stark gespannte Antagonisten sich im Gleichgewichte halten, durch die Annahme, die natürliche Kraft des einen werde momentan durch den Willensimpuls verstärkt und erlange so das Uebergewicht über die des andern [5]). Daraus folgt, dass er die bei der Nervenerregung sich äussernde Kraft ganz und gar sondert von derjenigen, die er als dauernde und ihm eigenthümliche im Muskel voraussetzt.

Die Sphincterenwirkung stellt Galen als abhängig von willkürlicher Action dar, eine Deutung, welche trotz des Scharfsinnes, dem er zu ihrer Vertheidigung aufbietet, nicht gerade glücklich zu nennen ist.

Ich habe Galen's Ansichten über unsern Gegenstand

---

1) l. c. pg. 387.

2) l. c. pg. 438.

3) l. c. pg. 390: *Οὐκ ἄδηλον δ', ὅτι τὸ μὲν τείνεσθαί τε καὶ εἰς ἑαυτοὺς συνέλκεσθαι σύμφυτος ἐνέργεια τοῖς μυσίν.*

4) *Οὐδέποτ' οὖν ἔξω τάσεως οὐδεὶς μῦς, οὐδ' ὅτ' ἐν τοῖς μέσοις σχήμασιν* (pg. 419), d. h., nicht einmal, wenn die Glieder in der mittleren Stellung zwischen Beugung und Streckung ruhen.

5) pg. 415.

umständlicher mitgetheilt, weil es von Interesse ist, die Anfänge der Theorie der Muskelaction kennen zu lernen. Wenn wir von der allerdings confusen Vorstellung absehen, die G. von den Sehnen hatte (er lässt sie zusammengesetzt sein aus den sich sammelnden Enden der Muskelnerven und den Ligamenten), so finden wir bei ihm manche richtige Beobachtung und nüchterne Anschauung, auf welche die Physiologie vieler folgender Jahrhunderte weiter zu bauen ohne Zweifel gut gethan hätte. Denn sie erreicht in ihren Ansichten Galen's Einfachheit nicht, ohne durch ihre complicirteren Hypothesen der Wissenschaft irgend welche Frucht gezeitigt zu haben.

So sind die Ansichten des Gelehrten, den wir mit einem grossen Sprunge zunächst in Betracht ziehen, Georg Ernst Stahl's, bei weitem weniger den Forderungen ruhiger, vorurtheilsfreier Beobachtung entsprechend. Stahl schrieb eine besondere Abhandlung über den Tonus [1]) deren ich leider nicht habhaft werden konnte. Soviel ich aus anderen Autoren [2]) darüber ersehen, gebraucht er die Bezeichnung „motus tonicus“ in ganz anderm Sinne als Galen. Um es kurz zu sagen, versteht er darunter die relativ trägen Bewegungen vieler Theile, in denen die neuere Anatomie als bewegendes Princip glatte Muskelfasern nachgewiesen hat, also z. B. die Contractionen der Ausführungsgänge der Drüsen, der Gefässe, der Haut bei Application von Kälte. Ursache dieser Bewegungen, wie aller anderen, ist bei Stahl die bewusste Seele, die vernünftige Regentin ihres selbst erbauten Körpers. Es wäre uninteressant, länger bei diesen wenig fruchtbaren Theorien stehen zu bleiben, die sich in ähnlicher Weise

---

1) De motu tonico vitali. Jenae. 1692.

2) Namentlich aus Tiedemann's Physiologie des Menschen. (Darmstadt 1830, I. 713), und vor Allem aus Haller's weitläufigen Referaten.

durch die Schriften der zahlreichen Schüler Stahl's fortspinnen. Wir erwähnen erst wieder, als für unsern Gegenstand wichtig, Haller, dessen Irritabilitätslehre eine neue Epoche in der Muskelphysiologie begründete.

Haller [1]) unterscheidet vier Arten von Contractilität an den Muskeln: 1. Die allgemeine Elastizität, die sie mit allen anderen organischen Geweben theilen, und deren Aeusserung in der auf eine gewaltsame Expansion folgenden Contraction besteht. 2. Contractilitas fibrae animalis mortuae, welche im lebenden, wie im todten thierischen Gewebe, so lange es feucht ist, ihren Sitz hat und an der Contraction erkannt wird, welche durchschnittene Haut, getrennte Muskeln u. s. f. erfahren. Diese Kraft ist in thierischen Theilen fortwährend thätig, wenngleich ihre Wirkung nicht fortwährend in die Erscheinung tritt, was darin seinen Grund hat, dass die gleichen, nach entgegengesetzten Seiten gerichteten Kräfte sich aufheben. Haller war nicht im Stande, die Erscheinungen, die er dieser eigenthümlichen Kraft zuschreibt, auf die Elastizität zurückzuführen, ja er war über das Wesen derselben so im Unklaren, dass er von derselben Kraft die Verschrumpfung ableitet, welche thierische Theile bei Berührung mit corrodirenden Flüssigkeiten (Salpetersäure, Schwefelsäure etc.) erleiden, sowie auch die Contraction, welche die Haut bei Application von Kälte erfährt [2]). 3. Vis contractilis musculis insita s. propria. Auch unter dieser Rubrik finden wir eine Menge ganz verschiedener Erscheinungen zusammengefasst. Jeder muskulöse Theil hat die Fähigkeit, sich bei Einwirkung irgend welcher Reize unabhängig von den Nerven zu contrahiren. Die einen Organe gerathen schon unter dem Einfluss

---

1) Elementa physiologiae corporis humani. Lausannae MDCCLXII. Tom IV. Lib. II. Motus animalis. Sect. II. Motus musculorum phaenomena.

2) pg. 444, 445.

schwächerer Reize in Action, wie das Herz und die Eingeweide, die in Folge der im Organismus stetig anwesenden, wenig intensiven Reize fortwährend Bewegungen vollführen; die anderen Organe, weniger reizbar, contrahiren sich deutlich sichtbar erst bei Einwirkung stärkerer, von aussen herstammender oder in den Bahnen der Nerven vom Gehirne her ihnen zufliessender Reize; so die willkürlichen Muskeln. Gleichwohl ist auch in diesen die vis insita fortwährend thätig. Von dieser continuirlichen Action leitet Haller alle Phänomene im Bereiche der animalen Muskeln ab, die Galen seiner *σύμφυτος τοῖς μυςὶν ἐνέργεια* zuschreibt, also die gleiche Spannung der Antagonisten, die Contraction des einen nach Durchschneidung des andern u. s. f., eine Anschauung, welche im Auge zu behalten für unsern speziellen Gegenstand von besonderer Wichtigkeit ist. 4. Vis nervosa. Sie wird in den Muskeln in Folge von Erregung ihres Nervens thätig, hat mit der vorigen Kraft die ungefähr gleiche Dauer nach dem Tode gemein, unterscheidet sich aber von derselben dadurch, dass sie vom Gehirn her auf die Muskeln übertragen wird, und dass sie immer nur momentan thätig ist. Gegen die Physiologen, die der vis nervosa ununterbrochene Thätigkeit zuschreiben, wendet Haller ein, der Augenschein lehre, dass der Zustand der Muskeln, welcher nach einer aktiven, durch Innervation bedingten, Contraction eintrete, ganz verschieden sei von dem Contractionszustande selbst. Mithin werde mit letzterem Zustande, der durch die Innervation herbeigeführt wird, auch wohl die Innervation selbst vorüber sein. Es müssten ferner die willkürlichen Muskeln ermüden und schmerzen, wie erfahrungsmässig nach jeder dauernden Anstrengung, wenn sie von den Nerven in ununterbrochener Thätigkeit gehalten würden. Auch wisse die Seele, die ja die vis nervosa erwecke, Nichts von der fortwährenden Thätigkeit der Muskeln. Endlich würde unser

begrenzter Verstand, der immer nur wenige Dinge zugleich auffassen könne, gar nicht dazu hinreichen, das Gleichgewicht so vieler Muskelgruppen dadurch, dass er sie vermittelst der Nerven in der gehörigen Spannung hielte, fortwährend, selbst im Schlafe und in allen beliebigen Lebenszuständen, auf passende Weise herzustellen. Die Möglichkeit einer unwillkürlichen fortwährenden Innervation fällt Haller gar nicht ein. Immerhin sehen wir schon jetzt eine wenigstens ähnliche Frage obschweben, wie in neuester Zeit, die Frage, ob die Spannung der Muskeln am lebenden Körper vom Nervensystem abhängig oder unabhängig ist. Haller spricht sich, wie dies auch neuerdings geschehen ist, für die Unabhängigkeit aus. Doch unterscheidet sich seine Ansicht von der neuern dadurch, dass er jener Spannung nicht eine rein physikalische, sondern eine vitale Kraft, die vis contractilis musculis insita s. propria, zu Grunde legt, wie schon oben bemerkt worden ist.

Wieder übergehen wir eine Reihe physiologischer Schriftsteller, die den von Haller aufgestellten neuen Gesichtspunkten folgten, ohne sie irgend wesentlich zu modifiziren, bis auf Bichat[1]). Wenn Haller sich der neuerdings seit Weber vielfach acceptirten Ansicht über die Spannung der willkürlichen Muskeln dadurch um einen Schritt genähert hatte, dass er sie von den Nerven unabhängig sein liess, so vollendete Bichat diese Annäherung, indem er jene Spannung auf rein physikalische Kräfte zurückführte. Dadurch wird er für die Geschichte unseres Gegenstandes so wichtig, dass wir bei ihm etwas länger stehen bleiben müssen.

Bichat unterschied, wie Haller, vier Arten von Contractilität, doch mit mehr logischer Sonderung als jener:

---

1) Vgl. besonders dessen Recherches physiologiques sur la vie et la mort. Paris. 1805. pg. 97 sq.

1. Contractilité animale, die Verkürzungsfähigkeit willkürlicher Muskeln auf den Impuls des Willens. 2. Contractilité organique, die Bewegungsfähigkeit aller vegetativen Organe, die ihr Prinzip in dem Organe selbst, das sich bewegt, hat, während die erste ihr Centrum im Gehirne findet. Die zweite hat zwei weniger prinzipiell, als nach ihrer äussern Erscheinungsweise geschiedene Unterabtheilungen. Die contractilité organique sensible nämlich, die „ungefähr" der Irritabilität entspricht, wohnt im Herzen und in den grossen Blutgefässen, in den intestinis, in der Blase, also in den Organen, die Bewegungen von grössern Excursionen machen, während die andere, contractilité organique insensible ou tonicité, den Ausführungsgängen der Drüsen, den kleineren Gefässen, den Lymphgefässen u. s. f. eigenthümlich ist, also lauter Organen, deren Bewegungen relativ träger und von geringerer Grösse sind. 3. Contractilité par défaut d'extension oder contractilité de tissu. Hier finden wir zum ersten Male die physikalische Elastizität in ihrer weiteren Bedeutung für den Organismus richtiger aufgefasst, als bei den früheren Physiologen.

Bichat weist [1]) nämlich weitläufiger darauf hin, dass viele der organischen Gewebe im normalen Zustande am lebenden Körper über das ihrer natürlichen Elastizität entsprechende Maass gedehnt sind. So die willkürlichen Muskeln durch ihre Antagonisten, die hohlen Muskeln und die Gefässe durch ihren Inhalt, die Haut einer Körperstelle durch die benachbarter Theile u. s. f. Mit dem Wegfalle der Ursachen der Dehnung fällt diese selbst weg, es tritt Contraction der vorher gespannten Theile ein. Daher das Klaffen von Wunden, daher die Verkürzung losgelöster Muskeln und die Contraction ihrer Antagonisten u. dgl. m. Diese con-

1) Bichat l. c. pg. 106 sq.

tractilité hat ihren Grund lediglich in der physicalischen Beschaffenheit der organischen Gewebe, und wenn sie auch nach dem Tode weniger beträchtlich ist, als während des Lebens, so hört sie doch niemals auf, sondern bleibt, wenn auch in geringerem Grade, bestehen, so lange die Textur der Gewebe erhalten ist.

Wir sehen, dass die tonicité oder contractilité organique insensible bei Bichat eine ganz andere Rolle spielt, als der moderne Tonus. Für die Sache des letztern wichtiger ist die zuletzt besprochene Contractilität. Wir werden später finden, dass ein deutscher Physiologe ganz auf Bichat's Anschauungen in Betreff dieser letztern zurückkam.

Nach Bichat finden wir lange Zeit nichts für uns besonders Interessantes. Der Begriff des Tonus ändert sich im Wesentlichen bei den nächstfolgenden Physiologen nicht; er bleibt unbestimmt, indem als „tonisch" bald diese, bald jene Bewegungsform bezeichnet wird. So definirt Tiedemann [1]) als tonische Bewegungen solche, „die weder als Wirkungen der blossen Elastizität, noch als solche der Muskelcontractilität anzusehen sind". Sie werden fast denselben Organen zugeschrieben, an denen Bichat seine tonicité demonstrirte. Dergleichen Betrachtungen sind von zu geringem Interesse, als dass sie uns länger fesseln könnten.

Wichtig wird erst wieder Joh. Müller. Zwar finden wir das Wort Tonus bei ihm nicht in viel strikterem Sinne gebraucht, als früherhin. Er nennt nämlich [2]) organischen Tonus der kleineren Arterien die Kraft, vermöge welcher sich diese auf Application von Kälte zusammenziehen, — ein von Schwann an dem Mesenterio von Batrachiern constatirtes Faktum. Welchem Gewebe der Arterienwand diese Kraft

1) Physiologie des Menschen. Darmstadt. 1830. I. 714.
2) Handbuch der Physiologie. Coblenz. 1837. II. 29.

inhärirt, ist nicht ausgemacht. Bedeutungsvoller für unsern Gegenstand ist es, dass bei Müller, meines Wissens zum ersten Male in Deutschland, der Zustand der willkürlichen Muskeln beschrieben ist, den spätere Physiologen als Tonus derselben bezeichnet haben. In der ersten Ausgabe seines Handbuches der Physiologie nämlich stellt Müller die Ansicht auf, dass die Muskeln „beständig dem Prinzipe der „Nerven, auch im Zustande der Ruhe, ausgesetzt sind. Man „sieht dies deutlich an dem Zurückziehen der durchschnitte„nen Muskeln, an den leisen Bebungen blosgelegter Muskeln „und an der Verstellung des Gesichtes und der Zunge bei „halbseitiger Lähmung“ [1]). Weiter wird [2]) für diese continuirliche Innervation die stetige Contraction der Sphincteren angeführt, die nach M. Hall von der Integrität des Rückenmarkes in seinem unteren Theile abhängt, und die spontane Contraction der Muskeln, deren Antagonisten durchschnitten oder gelähmt sind [3]).

So wurden in Deutschland durch J. Müller Ideen eingeführt, die in England M. Hall [4]) zu begründen suchte. Dieser unterstützte seine Hypothese vom Tonus der Muskeln (denn diese Bezeichnung erhielt die fortwährende, vom Rükkenmarke abhängige Spannung derselben) durch den vielfach

---

1) l. c. II. 40.

2) l. c. 80 und 81.

3) J. Müller scheint später den Gedanken an eine fortwährende Innervation aller Muskeln aufgegeben zu haben. In der vierten Auflage des Handbuches (die zwei Jahre vor Weber's Arbeit über Muskelbewegung erschien) heisst es nämlich: „das Rückenmark lässt im Zustande der Gesundheit einen grossen Theil der Bewegungsnerven, namentlich die der Ortsbewegung, ruhig; aber auf viele andere wirkt es in einem fort motorisch, indem es sie in beständigen unwillkürlichen Zusammenziehungen erhält, die erst mit der Lähmung des Rückenmarkes aufhören.“ Zu letzteren wurden u. A. die Spincteren gerechnet.

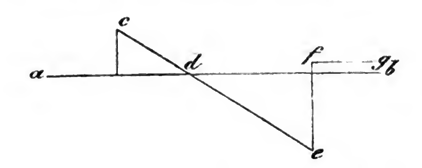
4) Cf. dessen Abhandlungen über das Nervensystem, deutsch von Kürschner. Marburg. 1840.

citirten Versuch über die Abhängigkeit der Contraction des Sphincter ani vom Rückenmarke; dann durch folgende Beobachtungen, die ich aus Kürschner's Uebersetzung mittheile. Zwei Kaninchen wurden zu einem Versuche genommen, bei beiden der Kopf entfernt, bei dem einen zugleich das Rückenmark mittelst eines scharfen Instrumentes zerstört. Die Extremitäten des letztern waren „völlig erschlafft", die des erstern behielten einen gewissen Grad von Festigkeit und Elastizität. Der Unterschied soll sehr ausgeprägt gewesen sein. — Ebenso waren bei einer Schildkröte, deren Rückenmark aus dem Wirbelkanal hersausgenommen war, die Muskeln „völlig erschlafft" und hatten „ihre Widerstandskraft verloren". Der Sphincter büsste seine runde Form ein, war nicht mehr zusammengezogen, lax, schlaff, hängend. Schlaff war auch der Schwanz und bewegte sich nicht mehr, wenn er gereizt wurde. Aus diesen Versuchen, in denen neben dem „Tonus" auch die Reflexbewegungen verloren gegangen waren, schloss der englische Physiologe, dass beides, Tonus und Reflexaction, nur „Modificationen derselben Function des Rückenmarkes" seien.

Durch Henle[1]) wurde die Tonuslehre weiter ausgebildet. Er nahm den Namen Tonus für die ununterbrochene Thätigkeit in Anspruch, die er im ganzen Nervensystem nachweisen wollte. Bedingung für die tonische Thätigkeit der Nerven ist ihr Zusammenhang mit der grauen Substanz des Rückenmarkes und Gehirnes. Für den Tonus der Muskeln führt Henle neue Beobachtungen oder Versuche durchaus nicht an. Er macht auf das Herabhängen des Unterkiefers nach Durchschneidung des dritten Quintusastes (Versuch?) und, wie Müller, auf die Schiefstellung des Mundes nach

1) Dessen Allgemeine Anatomie pg. 593, 720, 277. — Rationelle Pathologie I. 110, 115, 119.

Facialislähmung sowie auf die Erschlaffung der Sphincteren bei Läsionen des Rückenmarkes aufmerksam. Wie das bekannte Faktum, dass nach Durchschneidung der Schenkelnerven die Beine, vollkommen gelähmt, nachgeschleppt werden, hierher gehört, ist freilich nicht abzusehen; es wird dadurch doch eben nur bewiesen, dass für die willkürliche Action der Muskeln die Integrität der zugehörigen Nerven nothwendige Bedingung ist. Faktisches also bringt Henle zum Beweise seines Satzes, dass „Alles, was den Zustand der Nerven zu ändern vermag, auch die Spannung der Muskeln ändert", sehr wenig bei. Dafür giebt er Hypothesen über die Natur des Tonus und seine Veränderlichkeit, die nichts weniger als bewiesen sind: „Drücken wir durch die Linie ab „den angebornen Tonus aus, so sind die Folgen eines exciti„renden Reizes zuerst Erregung (bis c), dann allmälige Rück„kehr zur Ruhe (cd) und unter dieselbe (de), dann Restitu„tion und Steigerung (ef), endlich Beharren auf diesem neu



gewonnenen Tonus (fg)" [1]. So soll in einer zweckmässig und mit den zur Erholung nöthigen Pausen gereizten Muskelgruppe der Tonus gesteigert werden. Diese wissenschaftliche Interpretation der vulgären Thatsache, dass Muskeln durch Uebung stärker werden, ist so einseitig, dass sie kaum irgend welchen Anklang finden dürfte. Die theoretisch construirte Tonuscurve entspricht der Wirklichkeit durchaus

1) Rationelle Pathologie I. 119.

nicht, wie später anzuführende empirisch gewonnene Curven zeigen werden.

Volkmann[1]) adoptirt die Tonustheorie auf die von jenen Autoren angeführten Beweise hin.

Zwei Jahre nach des Letztern Arbeit begann die Reaction gegen den Muskeltonus durch Ed. Weber[2]). Um zu entscheiden, ob die Contraction, welche Muskeln bei Durchschneidung oder Loslösung eines ihrer Enden erfahren, vom Rückenmarke abhängig oder unabhängig sei, brachte Weber[3]), an Kaninchen experimentirend, das Bein einer Seite nach Durchschneidung des nv. ischiadicus in die für ruhiges Herabhängen normale halbgebogene Lage des Knie- und Fussgelenkes und durchschnitt dann die Achillessehne. Es entfernten sich ihre Enden von einander, im Mittel um 6 mm. (bei der bezeichneten Stellung). Nach Durchschneidung der Flexoren des Fusses auf der Vorderseite des Unterschenkels verkürzten sich auch diese. Er schloss daraus, das die Verkürzung der Muskeln bei Durchschneidung ihrer Flechsen nicht von einer thätigen Contraction derselben herrührt, sondern von elastischer Spannung, in welcher alle Muskeln am lebenden Körper sich während ihrer Unthätigkeit befinden. Mit einem Worte, Weber kam bei Erklärung der Phänomene, die zur Rechtfertigung eines Muskeltonus benutzt wurden, vollständig auf die Anschauungen zurück, die Bichat in dem Abschnitte von der Contractilité par défaut d'extension vier Jahrzehnte früher entwickelt hatte.

Seit Weber ist über den Muskeltonus nicht mehr experimentirt worden. Die Physiologen begnügten sich, seine

---

1) Artikel Nervenphysiologie in Wagner's Handwörterbuch Bd. II. 1844. pg. 488.

2) Artikel Muskelbewegung in R. Wagner's Handwörterbuch III. 2. — 1846.

3) l. c. p. 116.

Gründe und die der andern Partei gegen einander abzuwägen und sich danach für die eine oder die andere Seite zu entscheiden oder, und das sind die meisten Fälle, die Sache in suspenso zu lassen.

So erklärt Koelliker[1]), er „glaube" an keinen Tonus, sondern halte „das Meiste", was man mit diesem Namen bezeichnet habe, nur für Folge elastischer Spannung.

Nach Lotze's Ansicht [2]) liegt keine empirische Thatsache vor, die zu der Annahme auffordere, dass auch bei der Abwesenheit positiver Reize jeder Nerv sich, wie der opticus, von dem es erwiesen sei, in einem Zustande der Thätigkeit befinde. Dennoch sei diese Annahme aus allgemeineren (?) Gründen nicht unwahrscheinlich.

Ludwig[3]) widmet der Tonusfrage eine Seite, auf welcher er theils die von Weber gegen den Tonus erhobenen Bedenken bekräftigt, theils neue Monita gegen andere Gründe, die zu Gunsten des Tonus erhoben worden sind, beibringt. Namentlich wendet er gegen M. Hall's Versuch an dem Sphincter ani einer Schildkröte ein, dass bei Menschen nach Verletzung des Hals- oder Brusttheiles des Rückenmarkes, durch welche das Lendenmark vom Gehirn getrennt wird, der Afterschliesser vollkommen erschlafft, so dass der Koth unwillkürlich abgeht, während doch die Sphincterennerven noch mit dem Lendenmarke in Verbindung sind. Ferner sei es nicht anzunehmen, das Muskeln und Nerven eine dauernde, wenn auch noch so geringe Thätigkeit ertragen, da sonstige Erfahrungen lehren, dass sie bei continuirlicher Action bald ermüden. Ludwig's Resumé ist, dass die Thatsachen „vorerst noch keineswegs" zur Annahme der Tonustheorie zwingen.

---

1) Mikroskopische Anatomie, Leipzig 1850, II. 1. pg. 269.
2) Allgemeine Physiologie, Leipzig 1851, pg. 412.
3) Lehrbuch der Physiologie I., Heidelberg 1852, pg. 152.

In ganz ähnlicher Weise spricht sich Eckhard [1]) über unsern Gegenstand aus.

Endlich ist noch Virchow zu erwähnen [2]). Er berührt in seinen Bemerkungen die Henle-Weber'sche Frage nicht direkt, weil er von der Bedeutung des Ausdruckes „Tonus", welche dieser durch die Physiologen bekommen hatte, ganz abgeht. Nach Virchow handelt es sich bei dem Tonus „um ein Tensionsverhältniss, das bleibend aus der durch den „Ernährungsprozess eines Theiles bedingten Anziehung seiner „Atome, nicht vorübergehend aus einer besonderen Erregung „oder Reizung, hervorgeht." Denn „bei günstiger Ernäh„rung, wo irgend ein Theil in seiner Zusammensetzung voll„ständig regelmässig und gleichmässig erhalten wird, muss „die innere Anziehung seiner Theilchen, seine Cohäsion, da„her auch seine Widerstandskraft nach aussen, die grösste „sein. Bei Ernährungsstörungen, wo seine Mischung durch „ungleichartige, verbrauchte oder nicht regelmässig assimilirte „Theilchen unterbrochen wird, wird die innere Anziehung „nachlassen, die Cohäsion sich vermindern. Dort ist Tonus, „hier Atonie." — Wir sehen die Pathologie sich einen neuen terminus technicus schaffen oder vielmehr die Bedeutung eines lange gebrauchten zum Bewussstein bringen. Offenbar hat dieser Commentar zu den Ausdrücken „Tonus" und „Atonie", welche den Pathologen so sehr geläufig sind, mit der Sache des Muskeltonus, der in der Physiologie eine feste Bedeutung erlangt hat, Nichts zu thun. Der Pathologie muss es erwünscht sein, sich ihrem „Tonus" gegenüber ihren Standpunkt klar gemacht zu sehen. —

Nachdem bisher rein historisch die Entwickelung des Begriffes des Tonus verfolgt und referirt worden ist, welche

1) Grundzüge der Physiologie des Nervensystems, Giessen 1854.

2) Archiv für pathologische Anatomie Bd. VI. 139.

Deutungen zu verschiedenen Zeiten die Erscheinungen erfahren haben, die man neuerdings als Beweise für die Existenz des modernen Tonus angeführt hat, gehen wir zur Prüfung der Gründe pro et contra über, um zu sehen, wie weit die Frage schon spruchreif ist.

1. Die Retraction durchschnittener Muskeln und die Contraction ihrer Antagonisten erklärte Galen durch eine *σύμφυτος τοῖς μυσὶν ἐνέργεια*, die er als von den Nerven unabhängig betrachtet, Haller durch seine vis musculis insita, eine den Muskeln eigenthümliche vitale Kraft. Bichat lässt sie von seiner rein physikalischen contractilité par défaut d'extension, Müller (wenigstens in der ersten Ausgabe seines Handbuches) und Henle von einer continuirlichen mässigen Thätigkeit der Nerven und zugehörigen Muskeln, also von dem Tonus engern Sinnes, Weber von der physikalischen Elastizität des Muskelgewebes abhängig sein. Dass letztere zum Theile jene Phänomene bedingt, liegt auf der Hand. Schon der Umstand, dass auch an todten Thieren durchschnittene Muskeln sich retrahiren, wie Jedermann von den chirurgischen Operationsübungen an Cadavern her sich dessen erinnert, beweist es, ebenso beweisen es Weber's Versuche. Doch kann aus letzteren nimmermehr die Folgerung abgeleitet werden, die W. daraus zog, dass nämlich auch bei unversehrten Nerven die physikalische Elastizität alleiniger Grund der Retraction losgelöster Muskeln ist. Zur völligen Begründung seiner Ansicht musste Weber den Beweis stellen, dass nach der Trennung des ischiadicus die durchschnittene Achillessehne sich ebenso weit und mit ebenso grosser Kraft retrahirt, als ohne die Durchschneidung des Nerven. Diesen Beweis ist er schuldig geblieben. Deshalb kann auf seine Versuche hin keine endgültige Entscheidung in der schwebenden Frage getroffen werden.

2. Schwieriger ist die Beurtheilung des Grundes, der zur

Vertheidigung des Tonus von den Verzerrungs- und Verkrümmungserscheinungen bei Lähmungen hergenommen wird. Doch dass auch dieser durchaus nicht schlagend ist, wird aus dem Folgenden hervorgehn. Meistens kommen die Lähmungen erst einige Zeit nach ihrer Entstehung zur Beobachtung. In den gelähmten Theilen sind aber Nutritionsanomalieen eingetreten und mit ihnen nothwendiger Weise Veränderungen in den physikalischen Eigenschaften der betreffenden Gewebe Hand in Hand gegangen. Die schlechter ernährte Muskelgruppe verliert an elastischer Spannung, sie ist nicht mehr im Stande, die antagonistische in dem Grade von Ausdehnung zu erhalten, den diese im normalen Zustande hatte. In Folge dessen muss sich die letztere contrahiren „par défaut d'extension". So kann man wenigstens bei solchen Lähmungen, die schon einige Zeit bestanden haben, die Spannungs- und in Folge dieser die Lagenveränderung der Theile vollständig erklären, ohne auf den Tonus zu recurriren. Wie lange Zeit nun erforderlich ist, um diese Nutritionsanomalieen in paralystischen Theilen eintreten zu lassen, darüber hat man a priori kein Urtheil. Wenn auch die sichtbare Form der betreffenden Theile sich erst im Laufe der Zeit auffallend ändert, so ist es doch leicht möglich, dass ihre Kräfte viel schneller abnehmen als ihr Volumen. Werden doch bei Ernährungsstörungen, die durch Unterbindung der zuführenden Arterie herbeigeführt sind, die Muskeln ausserordentlich schnell funktionsunfähig. So könnten selbst die sehr bald nach eingetretener Paralyse stattfindenden Formveränderungen der Theile Folge der gestörten Nutritions- und in zweiter Reihe der veränderten Elastizitätsverhältnisse sein. Ferner ist bezüglich derjenigen Beispiele von Entstellungen bei Paralysen, die in der Tonusfrage am häufigsten geltend gemacht worden sind, Folgendes zu bemerken. Man hat erstens die Abweichung der herausgestreckten Zunge nach der

kranken Seite hin bei einseitiger Hypoglossuslähmung als Beweis für den Muskeltonus gelten lassen. Doch erklärt sich, (wie es auch einige Pathologen wollen), diese Verschiebung zur Genüge aus der Wirkung der genioglossi auf die Zunge. Vermöge des etwas schrägen Verlaufs seiner Fasern nämlich bewegt jeder genioglossus bei seiner Contraction die Zunge nicht blos nach vorn, sondern giebt zugleich ihrer Spitze eine Richtung nach der andern Seite hin. Wirken beide genioglossi zusammen, so heben sich die beiden die Zunge nach den Seiten hin bewegenden Kräfte auf und es bleibt nur die Bewegung geradeaus übrig. Fällt aber bei einseitiger Hypoglossuslähmung die Wirkung des einen genioglossus aus, so nimmt die Zunge ganz die Bewegung an, die ihr von dem andern genioglossus ertheilt wird, d. h. sie wird nach vorn und zugleich mit der Spitze nach der gelähmten Seite hin bewegt. — Was zweitens die Verzerrung des Mundes nach der gesunden Seite hin bei einseitiger Facialislähmung anlangt, so ist Folgendes zu bemerken: Werden im Normalzustande die Muskeln, die sich in die Mundwinkel inseriren, in Bewegung gesetzt, so wirken an beiden Winkeln gleiche Kräfte auf den orbicularis oris, der in Folge dessen nach beiden Seiten hin gleich gedehnt wird und beim Nachlassen der Contraction jener Muskeln natürlich seine normale Form wieder annimmt. Sind die Muskeln des einen Mundwinkels gelähmt, so muss bei der ersten willkürlichen Contraction der entsprechenden Muskeln der gesunden Seite der ganze orbicularis, der nirgends eine feste Insertion hat, nach dieser Seite hin verzogen werden, wobei die Muskeln der kranken Seite eine Dehnung erfahren. Nach Beendigung der Contraction sind letztere nicht im Stande, die durch die willkürliche Action herbeigeführte Verzerrung wieder aufzuheben, die deshalb eine bleibende wird. Sie wird mit der Dauer der Lähmung immer bedeutender, weil die gelähmten Muskeln

immer schlaffer und dehnsamer werden [1]). Man sieht, dass sich der Tonus-Hypothese eine andere nicht weniger berechtigte entgegensetzen, dass sich mithin aus den besprochenen Erscheinungen kein sicherer Schluss auf die Existenz oder Nichtexistenz des Tonus ziehen lässt.

3. Man hat das Verhalten der Sphincteren als Beweis für eine continuirliche, unwillkürliche, vom Rückenmarke abhängige, also „tonische" Action angeführt. Und es ist dies in der That ein Factum, dem sich Nichts entgegensetzen lässt Zwar bemüht sich schon Galen, die Thätigkeit der Sphincteren als eine durch den Willen bedingte darzustellen; es sollte selbst im Schlafe, nur unbewusst, der Wille wirksam sein. Ludwig scheint auf dasselbe hinaus zu wollen, wenn er hervorhebt, dass der Koth bei Menschen unwillkürlich abgeht, wenn der Zusammenhang der die Sphincteren versorgenden Nerven mit dem Gehirne durch Verwundung des Hals- oder Brustmarkes aufgehoben ist. Dagegen ist zu erwidern, dass die Lage des Centralorgans für die Sphincteren ja nicht bekannt ist. Jedenfalls würde man aber sehr complicirte Voraussetzungen machen müssen, wenn man den Sphincterenschluss als einen willkürlichen darstellen wollte. Dem unbefangen Urtheilenden drängt sich die Annahme auf, dass in der That die Sphincterennerven in einer continuirlichen, unwillkürlichen Thätigkeit begriffen sind. Wenn dies nun auch zugegeben wird, so ist damit keineswegs zugestanden, dass alle anderen Muskeln in ununterbrochener Thätigkeit verharren. Man muss sich in den empirischen Naturwissenschaften ausserordentlich davor hüten, Fakta, die für einen Fall richtig sind, auch für andere Fälle ohne Weiteres als richtig anzunehmen. Nicht einseitig, sondern nur nach allen Seiten

---

1) Aehnliche Betrachtungen in Bezug auf den letzten Punkt stellt schon Koelliker an l. c.

hin begründete Erfahrungen können als allgemeine Wahrheiten gelten.

4. M. Hall's oben erwähnte Versuche an zwei enthaupteten Kaninchen und einer enthaupteten Schildkröte sind wenig beweiskräftig. Sehen wir von den Beobachtungen ab, die er bezüglich der Reflexbewegungen anstellt, so bleiben als Beweise für die Aenderung der Spannung der Muskulatur, also für den Wegfall des „Tonus" nur die Bemerkungen übrig, dass die Extremitäten der Thiere nach jener Operation „erschlafft" sein und „ihre Widerstandskraft" verloren haben sollen. Diese Symptome sind aber offenbar nur dem ungefähren Augenscheine entnommen und deshalb als wissenschaftliche Beweismittel für so delikate Fragen ohne Gewicht.

5. Wir haben die für den Tonus angeführten Gründe und die Gegengründe besprochen und gesehen, dass beide durchaus nicht hinreichend sind, um einen endgültigen Schluss zu formiren. Es bleibt noch eine Thatsache übrig, die allerdings zur Annahme einer continuirlichen Innervation geneigt macht, weil sie das Vorhandensein derselben wenigstens an einem Nerven sicher beweist. Ich habe den Vagus im Auge. Nach Durchschneidung desselben oder während [1]) der Durchleitung eines constanten Stromes steigt die Frequenz der Herzschläge sofort bedeutend; auf der andern Seite sinkt sie, selbst bis auf Null, bei Erregung des Nerven durch einen discontinuirlichen Strom. Aus diesen Thatsachen geht hervor, dass die mittlere Zahl von Herzschlägen, die für den physiologischen Zustand die Norm ist, aus einer continuirlichen Innervation des Vagus von den Centralorganen aus, also aus einer „tonischen" Thätigkeit desselben resultiert. Wenn nun für den Vagus eine continuirliche Innervation unleugbar be-

1) nicht nach der Durchleitung, wie Ludwig in seinem Lehrbuche unrichtig referirt (II. 68).

wiesen und sie auch wohl für die Sphincteren nicht wegzudeduciren ist, so wird man sehr geneigt, dieselbe auch für die übrigen in centrifugaler Richtung ihre Effecte äussernden Nerven zu supponiren, wie es die Tonustheorie haben will.

Alles zusammengenommen, ergiebt sich, dass die Physiologie über den Tonus der willkürlichen Muskeln durchaus im Unsichern ist. Dieser Mangel einer bestimmten Basis zur Beurtheilung der Frage drängte sich mir zuerst auf, als ich das Glück hatte, in den Jahren 1852 und 53 einer grossen Zahl von Versuchen über Muskelbewegung beizuwohnen, die mein verehrter Lehrer Herr Prof. Volkmann in Halle anstellte. Er selbst begann, an der Richtigkeit seiner früher im Artikel „Nervenphysiologie" geäusserten Ansicht zweifelhaft geworden, in ähnlicher Weise, wie ich es im Folgenden durchgeführt habe, über den Tonus zu experimentiren, doch blieben seine Versuche auf eine geringe Zahl mit wechselnden Resultaten beschränkt. Ich habe die folgenden Untersuchungen im physiologischen Laboratorio des Herrn Prof. du Bois-Reymond zu Berlin angestellt, der nicht ermüdete, mich mit Hülfsmitteln aller Art für die Durchführung der Arbeit zu versehen. Es sei mir vergönnt, demselben meinen innigen Dank für seine ausserordentlich liberale Unterstützung auszusprechen.

Versuche.

Die meinen Versuchen zu Grunde liegende, sehr einfache Idee ist folgende: Wenn für jeden Muskel in der stetigen mässigen Erregung seines motorischen Nerven, welche nach der Tonustheorie ununterbrochen von den Centralorganen ausgeht, eine Ursache immerwährender Thätigkeit, fortwährenden Contractionsbestrebens liegt, so wird diese Action sofort aufhören, sobald alle Nervenbahnen zwischen dem Mus-

kel und dem Rückenmarke unterbrochen sind. Nach Durchschneidung der motorischen Nerven wird die Contraction des Muskels, soweit sie vom Rückenmarke abhängt, sofort nachlassen, seine Spannung, welche Folge sowohl der physikalischen Elastizität, als der „tonischen Erregung" war, wird sich nach Aufhebung der letztern verringern. Um diese Spannungsabnahme, falls sie nach der Nervendurchschneidung eintreten sollte, genau controlliren zu können, verfuhr ich nach folgendem Prinzipe: Wird ein Muskel am lebenden Thiere an seinem unteren, dem Rumpfe ferneren, Insertionspunkte losgelöst, mit sorgfältiger Schonung seines motorischen Nerven frei präparirt bis zur oberen Insertion hin, dann das Thier in eine solche Lage gebracht, dass der Muskel frei vertikal herabhängt, und nun an das untere Ende desselben ein Gewicht angehängt, so wird der Muskel durch das Gewicht ausgedehnt. Die Dehnung hat ihre Grenze, wenn die Spannung des Muskels eine dem Gewichte entsprechende Grösse erreicht hat. Die Spannung setzen wir aber als bedingt: 1. Durch die physikalische Elastizität der den Muskel constituirenden Gewebe; 2. durch die vom unversehrten motorischen Nerven abhängige tonische Thätigkeit der contractilen Muskelfaser. Wenn der Muskel das Maximum seiner Expansion erreicht hat, findet Gleichgewicht statt zwischen der durch das Gewicht repräsentirten expandirenden Kraft einerseits, und den contrahirenden Kräften, der Elastizität und dem Tonus, andererseits. Sogleich anzugebender Folgerungen wegen ist es von Wichtigkeit, auf die nach dem letzten Satze selbstverständliche Relation zwischen der elastischen Spannung und der expandirenden Kraft des Gewichtes ausdrücklich aufmerksam zu machen, dass nämlich erstere geringer ist als letztere, um so viel, als die aus der tonischen Thätigkeit des Muskels hervorgehende Kraftgrösse beträgt. Wird nun bei der beschriebenen Anordnung des

Versuches die tonische Contraction des Muskels durch Trennung seines motorischen Nerven vernichtet, so wird das Gleichgewicht zwischen den contrahirenden und expandirenden Kräften aufgehoben. Es tritt Dehnung des Muskels ein. In Folge dessen nimmt seine elastische Spannung zu. Ist sie bis zu einer dem Gewichte entsprechenden Grösse gewachsen, so tritt ein neuer Gleichgewichtszustand ein. Dieser Gang der Dinge muss erwartet werden, wenn Tonus im Muskel vorhanden ist. Fehlt er aber, so wird die Durchschneidung des Nerven ohne Einfluss auf die Muskellänge sein; denn der Muskel wird von vorn herein durch das Gewicht so weit ausgedehnt werden, dass seine elastische Spannung dem letztern entspricht.

Die bisherige Darstellung muss noch in Etwas modifizirt werden. Jeder Muskel nämlich erfährt durch ein angehängtes Gewicht, durch das er im Augenblicke nur bis zu einer bestimmten Länge expandirt wird, mit der Zeit eine weitere continuirliche Dehnung, eine Erscheinung, welche unter dem Namen der elastischen Nachwirkung hinreichend bekannt ist. Der Längenzuwachs für gleiche Zeiten ist am Anfange der Dehnung am bedeutendsten und nimmt später schnell ab. Denken wir uns auf der Abscissenaxe Ox eines Coordinatensystemes (Tab. II, Fig. 1) die Stücke Ox^1, x^1x^2, x^2x^3 etc. den Zeiteinheiten entsprechend abgetragen, denken wir uns ferner auf der Ordinatenaxe das Stück Ly gleich der Länge des Muskels am Anfange der Beobachtung aufgetragen, durch y eine Parallele zur Abscissenaxe gezogen; in x^1, x^2 u. s. f. Ordinaten errichtet, welche jene Parallele in y^1, y^2 u. s. f. schneiden, endlich auf die Ordinatenstücke y^1x^1, y^2x^2, etc. von y^1, y^2 etc. aus die den Zeiten Ox^1, Ox^2 etc. entsprechenden Längenzuwächse $= y^1l^1$, y^2l^2 etc. aufgetragen, so werden die Punkte l^1, l^2 u. s. f. durch eine Curve verbunden werden, die ihre Convexität der Abscissenaxe zukehrt.

Wie ist nun von diesen Längenzuwächsen zu unterscheiden der Zuwachs, welchen der Muskel nach Durchschneidung seines Nerven erfährt, falls Tonus vorhanden ist? Offenbar wird hier eine plötzliche Verlängerung des Muskels eintreten, weit bedeutender, als die sehr geringen Zuwächse, welche aus der elastischen Nachwirkung hervorgehen. Die Curve wird mithin an der Stelle, welche dem Zeitpunkte der Nervendurchschneidung entspricht, discontinuirlich werden, indem sie plötzlich nach der Abscissenaxe hin um ein Stück sinkt, welches von der Grösse der vernichteten tonischen Contractionskraft abhängig ist. Darauf wird sie einen dem früheren ähnlichen Gang einhalten. Geschieht also in unserm Curvenschema Fig. 1 die Durchschneidung bei x^n, so wird die Curve in der nächsten Zeiteinheit plötzlich bis l^n sinken und dann in der früheren Weise fortgehen. Ist dagegen kein Muskeltonus vorhanden, so wird die Continuität der Curve durch die Nervendurchschneidung nicht gestört werden.

Die Durchführung der Versuche nach dem eben entwickelten Prinzipe hat manche nicht leicht zu beseitigende Schwierigkeiten. Die Messung der Muskellängen musste mit grosser Schärfe vorgenommen werden, da einmal die Längenzuwächse des Muskels in Folge der Dehnung innerhalb kurzer Zeiträume sehr gering sind, da ferner vielleicht auch die tonische Kraft des Muskels keine bedeutende Grösse hatte, so dass dann die nach der Vernichtung derselben eintretende Verlängerung ebenfalls nicht sehr bedeutend sein konnte. Diese Schwierigkeit war überwunden, wenn es gelang, dem obern Insertionspunkte des Muskels, an dem die Untersuchung vorgenommen wurde, eine durchaus feste Lage zu geben. Dies vorausgesetzt, brachte ich an dem untern Ende des Muskels einen vertikalen Stahlstab vv [1]) an, der wieder

1) Vergl. Tab. I. Es ist der Apparat und an ihm ein Schema der benutzten Muskelgruppe abgezeichnet.

an seinem untern Ende das dehnende Gewicht auf einer kleinen Schale (s) trug, während an seine Mitte eine kleine versilberte Scala mit Millimetertheilung (t) angeschraubt war. Auf einen bestimmten Theilstrich der Scala stellte ich den horizontalen Faden des Fadenkreuzes eines Fernrohrs (F) ein, das sich in einiger Entfernung von der Scala befand. Bei jeder Längenveränderung des Muskels trat ein anderer Theilstrich der Scala in das Fadenkreuz. Es ist klar, dass auf diese Art jede Veränderung der Muskellänge mit beliebiger Genauigkeit gemessen werden konnte, wenn die Theilung der Scala hinreichend ins Feine getrieben war und das Fernrohr dem entsprechend vergrösserte. Bei meiner Scala gingen auf 1 Millimeter 5 Theilstriche. Die Vergrösserung des Fernrohres reichte hin, um jeden Scalengrad in 10 Theile durch Schätzung zerlegen zu lassen, so dass mit hinreichender Sicherheit Längenveränderungen im Betrage von $\frac{1}{50}$ Mm. constatirt werden konnten, eine für die vorliegenden Zwecke völlig genügende Feinheit der Beobachtung. Alles kam darauf an, den obern Insertionspunkt des Muskels am lebenden Thiere unverrückbar zu machen. Wie diese ausserordentlich schwierige Aufgabe gelöst wurde, werde ich später bei Beschreibung der einzelnen Versuche anführen.

Bei Zuckungen des Muskels traten Pendelschwankungen des die Scala tragenden Stabes ein, welche das Scalenbild verrückten. Um sie zu vermeiden, liess ich bei meinen ersten Versuchen den Stahlstab durch eine feine Messingführung gehen. Doch lag in der hier unvermeidlichen Reibung eine Quelle für Fehler von unerwarteter Grösse. Deshalb musste ich die Führung bald aufgeben und eine andere Methode anwenden, um den Schwankungen zu begegnen. Am untern Ende des Stahlstabes wurde ein Messingrahmen (rr) angebracht, innerhalb dessen die Schale für die Gewichte hing. An seiner untern Seite befand sich, genau in der ver-

längerten Richtung des Stahlstabes ein zweiter kürzerer Stab (v'), der an seinem untern Ende in zwei auf einander senkrechten, im Mittelpunkte seines Querschnittes sich kreuzenden, seiner Axe parallelen Ebenen Schnitte hatte, in die ein Kreuz von zwei sehr dünnen Glimmerblättern (gg) eingelassen war. Jedes Blatt hatte die Form eines Rechtecks, dessen Seiten resp. 70 Mm. und 40 Mm. lang waren. Diese windflügelartig gestellten Blätter tauchten in ein Gefäss mit Olivenöl (o). Es genügte diese Vorrichtung, um jede Pendelschwankung von einer die Sicherheit der Beobachtung gefährdenden Grösse zu verhüten.

Nachdem die Idee meiner Versuche und die Vorrichtungen im Allgemeinen beschrieben, gehe ich zu den speziellen Experimenten über.

Ich arbeitete zuerst an Fröschen, bei welchen ich eine Muskelgruppe des Oberschenkels, den adductor magnus und semimembranosus Cuv. benutzte. Nach Unterbindung der aorta und Freilegung des n. ischiadicus einer Seite (den ich nach der Präparation durch übergelegte Muskeln vor Luftzutritt völlig schützte), wurde die genannte Muskelgruppe derselben Seite präparirt, dann beide Oberschenkel exartikulirt und entfernt, quer durch die Pfannen ein dreikantiger stählerner Spiess (bb) gestossen und dieser vor einem vertikal stehenden Brettchen (B) befestigt. Letzteres nämlich, das auf dem Rande eines andern horizontalen Brettes (A) durch Schrauben befestigt war, trug unten zwei Messingstücke (M, M') deren Abstand von einander etwas geringer war, als die Länge des Spiesses. Das eine derselben hatte ein Loch zur Aufnahme der Spitze des Spiesses, das andere einen Schnitt (c), in welchem durch eine Schraube (d) das zweite Ende des Spiesses unverrückbar befestigt wurde. Schnürte ich noch die vordern Extremitäten durch Seidenschnüre an das vertikale Brettchen fest, so war ich sicher,

den obern Insertionspunkt der benutzten Muskelgruppe genau fixirt zu haben. An ihrem untern Ende hatte ich das obere Stück der tibia hängen lassen, um an dieses mittelst einer kleinen Klemmschraube (k) den Stahlstab zu befestigen, der die Scala und die Schale mit den Gewichten trug. Oberhalb der Schraube und mit ihr in Verbindung befindet sich eine kleine Messingschale, welche etwa herabträufelndes Blut auffängt und so die Scala vor Verunreinigung schützt. Dieser ganze Apparat sammt dem Messingrahmen und den Glimmerflügeln wog gegen 5 Grm. Da dieses Belastungsgewicht für die Muskeln constant blieb, werde ich es später nicht besonders erwähnen, sondern als Belastung nur die Gewichte anführen, welche ich auf die kleine Schale legte.

Um das horizontale Brett A und mit ihm den Frosch in verticaler und horizontaler Richtung beliebig verschieben zu können, wurde dasselbe in folgender Weise befestigt. Auf zwei Messingsäulen SS, die auf dem mit Stellschrauben versehenen Brette DD stehen, geht, durch die Schrauben EE stellbar, ein Brett GG, das in seiner Mitte einen halbkreisförmigen Ausschnitt und an beiden Seiten ein (in der Zeichnung nicht sichtbares) rundes Loch von ½ Zoll Durchmesser hat. Diesem Loche entspricht an der untern Seite des Brettes A jederseits eine Schraubenmutter, deren Umfang etwas grösser als der des Loches ist. Durch letzteres geht frei die Spindel einer Schraube, welche letztere, wenn jene in die Mutter eingeschraubt ist, eine Belegplatte von Messing an die untere Seite des Brettes GG drückt. So kann das Brett A an GG festgeschraubt werden und die Stellung des ersteren ist so weit veränderlich, als es der Umfang des Loches gestattet, durch welches die Spindel der Schraube geht.

Ich gebe nun einige nach dem obigen Prinzipe gewonnene Curven. Statt auf die Ordinaten die ganzen Muskellängen Ly, L^1l^1, L^2l^2 u. s. f. aufzutragen, wie sie in dem

Schema Fig. 1 verzeichnet sind, zeichne ich nur die Variationen des Höhenstandes des untern Muskelendes in den verschiedenen Zeiträumen, ich markire also nur die den Punkten y, l^1, l^2 etc. der Fig. 1 entsprechenden Punkte. Wird zugleich die Länge des Muskels am Anfange der Beobachtung angegeben, so kann man diese zu den (positiven oder negativen) Zuwächsen leicht hinzuaddiren und so ein Bild der ganzen Muskellängen sich construiren. — Ich habe aus der Zahl der Curven, die ich besitze, nur zwei abgezeichnet, weil alle anderen ihnen vollkommen analog sind. Die erste, Fig. 2, bezieht sich auf eine Muskelgruppe von 35 Mm. Länge [1]) und 10 Grm. Belastung, die zweite, Fig. 3, auf eine Gruppe von 40 Mm. Länge und 20 Grm. Belastung. Die einzelnen Abscissenstrecken entsprechen einer halben Minute, denn die Länge des Muskels wurde jede halbe Minute an dem Stande der Scala abgemessen. Der Werth eines Ordinatentheiles beträgt 0,2 Mm. Wo die die Muskellängen angebenden Punkte mit einem darüber stehenden (†) bezeichnet sind, geschah in der vorhergehenden halben Minute eine Zuckung. Ich musste Zuckungen veranlassen, um mich über den Einfluss derselben auf den Stand der Scala zu unterrichten, da ja bei der Durchschneidung des Nerven eine Zuckung schwer zu vermeiden war. Oft zuckten die Frösche ohne äussere Veranlassung, wenn sie aus ihrer unbequemen Situation sich zu befreien trachteten. Im Nothfalle kniff ich empfindliche Hautstellen mit einer Pincette, um die Thiere zu Zuckungen zu veranlassen. Man sieht, namentlich an der zweiten Curve, dass die mit einem (†) versehenen Punkte öfters höher stehen als die vorangehenden und folgenden. Es geht daraus hervor, dass nach Zuckungen öfters geringe

---

1) Die angegebene Länge ist hier, wie später, das Mittel aus mehreren Messungen an verschiedenen Stellen der Muskelgruppe.

Contractionen der Muskeln zurückbleiben, die erst allmälig nachlassen. Ich habe diese bleibenden Zusammenziehungen sehr häufig nach stärkeren Zuckungen beobachtet. Die Regelmässigkeit der Curven in der Gestalt, wie wir sie nach dem Früheren erwarten durften, wird durch diese Contractionen allerdings gestört, doch bleibt der Sinn ihres Ganges im Allgemeinen derselbe. In beiden vorliegenden Curven trat eine allmälige Dehnung des Muskels ein, die in der ersten in 14,5 Min. 0,44 Mm., in der zweiten in 18,5 Min. 0,4 Mm. betrug. In beiden Fällen ist aber die Durchschneidung des Nerven, die durch ein schwarzes Doppelkreuz (#) angedeutet ist, ohne allen Einfluss auf den Gang der Curve, es tritt durchaus nicht ein irgend bemerkliches Sinken derselben nach der Trennung ein, was wir erwarten mussten, wenn der Muskel vom Rückenmarke aus im Zustande einer mässigen Contraction gehalten wurde. Es folgt daraus: die animalen Muskeln besitzen keinen vom Nervensysteme abhängigen Tonus in dem erörterten Sinne des Wortes.

Die Berechtigung dieses Schlusses aus den obigen Beobachtungen ist noch näher zu begründen. Man könnte annehmen, dass Tonus zwar vorhanden ist, aber von einer so geringen Grösse, dass er den hier angewandten Beobachtungsmitteln entgeht. Stellen wir zuerst fest, welche Grösse der Ausdehnung des Muskels übersehen werden konnte. Nach den früheren Angaben konnte ich auf der Scala $\frac{1}{50}$ Mm. durch Schätzung ablesen. Die Länge des ersten Muskels, dessen Zahlen ich bei der Berechnung zu Grunde legen will, betrug 35 Mm. Ich konnte es also feststellen, wenn sich der Muskel um $\frac{1}{1750}$ seiner Länge ausdehnte, und Längenveränderungen dieser Grösse sind auch in der Curve verzeichnet worden. Ich will nun die Möglichkeit sogar relativ grosser Fehler zugeben, obgleich ich für dieselben keine

Quelle zu finden wüsste. In keinem Falle hätte es mir entgehen können, wenn sich die Muskeln bei den einzelnen Beobachtungen nach der Nervendurchschneidung regelmässig um einen halben Theilstrich ($= \frac{1}{10}$ Mm.) verlängert hätten. Eine solche plötzliche Verlängerung ist aber niemals vorgekommen. Der Muskel hat sich also, was über allen Zweifel feststeht, bei der Belastung von 10 Grm. (wozu das Gewicht der durch Stahlstab, Scala etc. repräsentirten Belastung von 5 Grm. kommt) nach der Nervendurchschneidung nicht um $\frac{1}{350}$ seiner Länge ausgedehnt. Es kann somit als sicher angesehen werden, dass die hypothetische tonische Kraft keinenfalls so gross ist, um 10 Grm. um $\frac{1}{10}$ Mm. zu heben. In anderen Fällen betrug die Belastung nur 5 Grm., das Resultat war ein gleiches. Nimmt man hinzu, dass der Querschnitt der benutzten Muskelgruppe, den ich nicht bestimmt habe, ein beträchtlicher ist, so sieht man, dass die hypothetische tonische Kraft unter eine Grösse sinkt, welche für Zwecke des Organismus noch verwendbar sein dürfte. Diese Betrachtung scheint mir um so schlagender, als ich alle Daten der Rechnung sehr zu meinen Ungunsten angenommen habe.

Man könnte ferner behaupten, in Folge der Präparation sei der Tonus erloschen. Doch schon daraus, dass die Frösche willkürliche Zuckungen zu vollführen im Stande waren, geht hervor, dass die Leitung vom Rückenmarke zu dem Muskel und die Contractilität des letztern intact war. Ferner gelang es ohne Ausnahme nach Durchschneidung des Nerven vom peripherischen Ende aus durch mechanische Reizung kräftige Muskelcontractionen zu erzeugen, was die Fortdauer der Leistungsfähigkeit sowohl des Nerven als des Muskels beweist. Man wird endlich sehen, dass bei den Kaninchen, auf die ich sogleich komme, Muskel und Nerv unmittelbar gar nicht insultirt wurden, dass aber trotzdem die Resultate dieselben blieben.

Endlich ist ein dritter Einwand in Betracht zu ziehen, den ich mir selbst gemacht habe. Bei Fröschen vergrössert sich nach Vagusdurchschneidung die Frequenz der Herzschläge nicht, während sie bei Säugethieren ausserordentlich zunimmt. Es scheint daraus hervorzugehen, dass bei den letzteren der Vagus im Zustande ununterbrochener Thätigkeit sich befindet, bei ersteren nicht. Was für diesen Nerv gilt, könnte leicht auch für die anderen Geltung haben. Der Beweis der Nichtexistenz des Muskeltonus bei Fröschen konnte deshalb nicht als Beweis gegen den Tonus im Allgemeinen betrachtet werden. Ich musste sonach den Versuch an warmblütigen Thieren wiederholen. Ich wählte Kaninchen, weil bei ihnen am leichtesten die Forderung zu erfüllen war, den obern Insertionspunkt des benutzten Muskels zu fixiren, Seiner Lage sowohl als der Leichtigkeit der Präparation des zugehörigen Nerven wegen ist der gastrocnemius des Kaninchens am besten zu benutzen, obwohl ihn die Kürze seiner Fasern weniger empfehlenswerth macht. Die Kaninchen befestigte ich so, dass ich sie mit der Bauchseite auf ein Brett legte, auf welches ich die vorderen Extremitäten aufband, während ich an den hinteren Extremitäten beiderseits zwischen den Knochen und der starken Muskulatur der Hinterseite des Oberschenkels ein breites Leinwandband durchzog, um mittelst desselben die Oberschenkel fest an dasselbe Brett anzuschnüren. Ebenso wurden zwischen Achillessehne und Unterschenkelknochen breite Bänder durchgezogen und durch diese die Unterschenkel fixirt, welche gerade bis an den untern Rand des Brettes reichten. Letzteres stand, durch Schrauben befestigt, vertikal auf dem Rande eines horizontalen, von einer Holzwand mit starken Streben getragenen, Brettes, an welches die im Fussgelenke rechtwinklig umgebogenen Füsse befestigt wurden. Nachdem das Kaninchen auf diese Art in vertikaler Lage fixirt war, schnitt ich das

hintere Ende des calcaneus, an das sich die Achillessehne festsetzt, mit einer Knochenzange vom übrigen Knochen ab, präparirte die Achillessehne bis zum untern Ende des Muskelbauches, der selbst vom Felle bedeckt blieb, frei, und befestigte an das an ihrem untern Ende hängende Knochenstückchen mittelst einer Klemmschraube den die Scala tragenden Stahlstab. Der Stamm des nv. ischiadicus kann in seinem Verlaufe am obern Ende des Oberschenkels sehr leicht zugänglich gemacht werden. Alle diese Operationen lassen sich fast ganz ohne Blutung ausführen. Im Uebrigen wurde die Beobachtung ganz wie bei den Fröschen angestellt.

Von den an Kaninchen gewonnenen Curven gebe ich ebenfalls zwei, Fig. 4 und 5. Die erste Curve bezieht sich auf einen sehr kleinen Muskel von nur $25\frac{2}{3}$ Mm. Länge, der mit 50 Grm. belastet war. Anfangs trat, wie man sieht, eine beträchtliche Dehnung ein. Der daraus resultirende Gang der Curve wird durch eine Zuckung in der sechsten halben Minute der Beobachtung unterbrochen, nach welcher die Dehnung momentan beträchtlicher wird als vorher (ein Umstand, der auch in der Curve Nr. 3 in der zehnten halben Minute eintritt). Bald darauf wird die Dehnung geringer. Die Senkung der Curve nach der Durchschneidung übertrifft die vorher durchaus nicht; im Gegentheile, die Durchschneidungs-Contraction ist bei der auf die Operation folgenden Ablesung noch ein wenig sichtbar und verschwindet erst bei der nächsten. — Die zweite Curve (Fig. 5) ist an einem sehr starken Muskel von 34 Mm. Länge gewonnen. Die Belastung betrug 100 Grm. Die Beobachtung konnte erst einige Minuten nach Anbringung der Belastung beginnen. Darin lag wohl der Grund, dass keine Dehnung mehr verzeichnet wurde. Sie war schon vollendet und hatte bei dem sehr starken Muskel wohl keine besondere Grösse. Man sieht, dass fast nach jeder Zuckung eine Contraction von fast 0,2 Mm.

zurückbleibt, die sich sehr bald wieder ausgleicht, und dass die Länge, die der Muskel am Anfange des Experiments hatte, constant bleibt, sowohl vor als nach der Nervendurchschneidung.

Die übrigen an Kaninchen gewonnenen Curven geben durchaus dieselben Resultate. Es bestätigt sich also der oben aufgestelte Satz, dass die Hypothese des Muskeltonus eine ungegründete ist.

Um zu zeigen, welchen Abfall die Curven ungefähr haben mussten, wenn Tonus vorhanden war, gebe ich in Fig. 6 ein Stück einer Curve, die an einem Kaninchen gewonnen ist, während es tetanische Krämpfe hatte. Nachdem die Curve eine Strecke in gewöhnlicher Weise fortgegangen war, erhob sie sich plötzlich weit über die Abscisse und verlief so unregelmässig, dass es unmöglich war, ihren Gang genauer zu verfolgen. Uns interessirt hier auch nur der Moment der Durchschneidung. Sie geschah, als ich den Stand des Muskels in einem Augenblicke genau fixirt hatte, wo die Erhebung über die Abscisse 15 Scalengrade betrug. Sofort sank, wie man sieht, der Muskel auf die Anfangsabscisse und wurde während mehrerer Minuten continuirlich gedehnt, unbekümmert um die noch fortdauernden tetanischen Stösse in den anderen Muskeln. Eine ähnliche, wenn auch nicht so bedeutende, doch ebenso plötzliche Senkung der Curve hätte stattfinden müssen, wenn unter normalen Verhältnissen, wie unter den hier beobachteten abnormen, vom Rückenmarke aus die motorischen Nerven in continuirlicher Erregung gehalten würden. Uebrigens dient dieser Fall zum Beweise für die Sicherheit der Befestigung des Thieres: denn nachdem die Anfangsabscisse erreicht war, ging die Curve ihren gewöhnlichen Gang, obgleich intensive Krämpfe den übrigen Körper erschütterten.

Dass mit der Widerlegung des Tonus für die animalen Muskeln dieselbe für die vegetativen Muskeln noch nicht gegeben ist, versteht sich von selbst. Gerade in neuester Zeit sind bei Gelegenheit der zahlreichen Versuche über Temperaturveränderung nach Nervendurchschneidungen Beobachtungen gemacht worden, die im Falle ihrer Bestätigung dem Tonus der Gefässe sehr das Wort reden. Doch finden sich noch Widersprüche unter den Resultaten der verschiedenen Experimentatoren, so dass bis jetzt sichere Schlüsse nicht gezogen werden können. Es stehen wohl von der nächsten Zukunft Aufschlüsse über die hier einschlagenden, jetzt von so vielen Seiten angeregten Fragen zu erwarten.

Zweiter Artikel.

Ueber eine die Muskelelastizität betreffende Frage.

(Hierzu Tab. III, Fig. 2.)

In der grossen Bedeutung der Elastizität der Muskeln für ihre physiologische Function liegt eine dringende Aufforderung, die Bedingungen genau zu studiren, welche auf die Grösse des Elastizitätscoefficienten von Einfluss sind. Die Untersuchungen von Wertheim[1]) über die Elastizität und die Cohäsion der thierischen Gewebe im Allgemeinen und von Ed. Weber[2]) über die elastischen Verhältnisse der ruhenden und der thätigen Muskeln im Besonderen haben viele sehr werthvolle Aufschlüsse gegeben. Unter den interessanten Resultaten, durch welche der letztere Forscher die Wissenschaft bereichert hat, steht der Satz obenan, dass die Dehnbarkeit eines Muskels während seiner Thätigkeit grösser ist, als während seiner Ruhe, oder, was dasselbe sagt, dass der Elastizitätscoefficient im ersteren Falle geringer ist, als im letzteren. Die dafür gegebene Beweisführung lässt freilich bei genauer Ueberlegung einige Bedenken zu. Bei Sätzen von so fundamentaler Wichtigkeit scheint es nicht überflüssig, jeden irgend möglichen Einwand einer experi-

1) Mémoire sur l'elasticité et la cohésion des principaux tissus du corps humain. Ann. de Chém. et de Phys. 30. Sér. T. 21. pag. 385 sq.

2) Dessen Artikel „Muskelbewegung" in R. Wagner's Handwörterbuch, III, 2.

mentellen Prüfung zu unterwerfen, deren Resultate ihn entweder bekräftigt oder entkräftet. Ich stehe deshalb nicht an, die folgende Untersuchung trotz ihrer negativen Resultate der Oeffentlichkeit zu übergeben, in der Hoffnung, dadurch vielleicht andern Forschern eine ähnliche Mühe zu ersparen.

Weber hat in allen seinen Versuchen die Muskelcontraktion dadurch herbeigeführt, dass er electrische Ströme unmittelbar durch den ganzen Muskel leitete. Jeder Strom bringt aber, wir können uns dieser Annahme nicht entschlagen, in durchströmten Leitern Molecularveränderungen zu Stande, deren Natur freilich unbekannt ist. Die Elastizität ist abhängig von Wirkungen der Molecule der Körper auf einander. Sollte die Grösse dieser Wirkungen sich nicht ändern, wenn ein electrischer Strom neue Beziehungen zwischen den Moleculen hervorruft? Man sieht, worauf ich hinaus will. Es wäre denkbar, dass in Weber's Versuchen die Verringerung des Elastizitätscoefficienten abhinge unmittelbar von der Einwirkung des electrischen Stromes auf die Molecule des durchströmten Muskels, ohne dass die mit den Stromesschwankungen Hand in Hand gehende Erregung des Muskels directen Antheil an jener Aenderung der Elastizität hätte. Nach Weber ist die Aenderung des Elasticitätscoefficienten erst in zweiter Reihe durch den Strom bedingt, insofern als zwischen jener und diesem die Erregung des Muskels ein nothwendiges Mittelglied bildet. Die Möglichkeit, dass die Elastizitätsänderung eine unmittelbare, der Erregung coordinirte, nicht aber erst durch sie bedingte, Wirkung des Stromes ist, lässt sich a priori nicht bestreiten, die Richtigkeit der Deutung, welche Weber seinen Beobachtungen giebt, sich von vornherein nicht zugeben. Das eben entwickelte Bedenken wäre nicht aufgetaucht, wenn W. auch nur in wenigen Versuchen die electrischen Ströme nicht unmittelbar durch den Muskel, sondern durch seinen Nerven

geleitet hätte, um jenen in Contraction zu versetzen: diese Modification des Experimentes ist leider nicht angewandt worden.

Vielleicht scheint dem Leser der Einwand, den ich vorzubringen mir erlaubt habe, zu künstlich erdacht und zu sehr aus der Luft gegriffen. Diesem vielleicht möglichen Vorwurfe zu begegnen, erlaube ich mir, in Erinnerung zu bringen, dass Wertheim[1]) an Metallen eine Verringerung des Elastizitätcoefficienten durch galvanische Ströme nachgewiesen hat. Der Longitudinalton von Metallstäben vertiefte sich beim Eintritte eines Stromes in dieselben und erhöhte sich sofort nach Unterbrechung des Stromes. Beide Veränderungen traten viel schneller ein, als die durch den Strom gesetzte Temperaturerhöhung entstand und wieder verschwand, so dass sie nicht etwa von dieser letztern abhingen. Ich verkenne nun keinen Augenblick, dass das Verhalten eines Metalles einem Strome gegenüber nicht maassgebend sein kann für das Verhalten eines Muskels. Dort ein, abgesehen von kleinen zufälligen Differenzen, homogener Körper von verhältnissmässig geringem und an allen Puncten nahezu gleichem Leitungswiderstande, der des Contactes mit andern ungleichartigen Körpern bedarf, um electromotorisch wirksam zu werden: hier ein schwammiger, mit Lösungen verschiedner Salze durchtränkter Körper von electrolytischer Beschaffenheit, der in sich eine Menge Elemente von sehr verschiednen physikalischen Eigenschaften und relativ sehr bedeutendem Leitungswiderstande birgt, der ausserdem mit selbstständig electromotorischen Molekeln ausgestattet ist, die fortwährend kreisende Ströme unterhalten. Genug Unterschiede, um einen bestimmten Schluss von dem Verhalten des einen gegen einen Strom auf das des andern unmöglich zu machen. Immerhin liegt in Wertheim's Entdeckung

1) Poggendorff's Annalen. Ergänzungsband II. pag. 114.

eine gewisse factische Berechtigung des von mir erhobenen Einwandes, der noch mehr an Probabilität gewinnt, wenn man bedenkt, wie bedeutende Veränderungen in den Eigenschaften eines Muskels ein electrischer Strom hervorruft, Veränderungen, die, einestheils so augenfällig bei Stromesschwankungen, vielleicht anderntheils nur in weniger augenscheinlicher Weise fortbestehen, während der Strom eine constante Dichte im Muskel innehält, und nur deshalb unserer Kenntniss entgingen, weil sie nicht ausdrücklich aufgesucht wurden. — [1])

Meine Versuche theilen sich in 3 Gruppen: zuerst studierte ich die Dehnungen, welche ein Muskel durch ein bestimmtes Gewicht in 30 Secunden erfährt, wenn man ihn mit diesem Gewichte die angegebene Zeit lang in bestimmten Pausen belastet. Es wurde also z. B. der Muskel (ich wählte die Gruppe des adductor magnus und semimembranosus Cuv.) 30 Sec. lang mit 50 Grm. belastet, dann so lange entlastet, bis er sich innerhalb 30 Sec. nicht mehr merklich verkürzte, darauf wieder 30 Sec. lang be-, nochmals bis zur Erlangung einer beständigen Länge entlastet, u. s. f. Alle 30 Sec. wurde die Muskellänge in der Weise bestimmt, wie dies in der Arbeit über Muskeltonus weitläufiger ausgeführt ist, und hier, wie dort, Curven der Dehnungen entworfen. Tragen wir nämlich auf der Abscissenaxe OX eines Coordinatensy-

---

1) Wie ich später gesehen, ist Valentin auf eine ähnliche Idee gekommen, wie ich sie soeben durchgeführt. Er denkt an die Möglichkeit, dass der elektrische Strom durch die im Muskel erzeugte Electrolyse die Dehnbarkeit vergrössern könne und stellt mit Bezug darauf einige Versuche an, die ihm nur negative Resultate ergaben. Doch sind Valentin's Betrachtungen, die allein auf die Electrolyse als mögliche Ursache der Elastizitätsänderung Rücksicht nehmen, sowie seine Versuche nicht vollständig genug, um mich von einer Veröffentlichung meiner Versuche abzuhalten, zumal da letztere in wesentlich anderer Weise durchgeführt wurden. Vgl. Valentin's Lehrbuch der Physologie II, 1. S. 257 sq.

stems[1]) die Stücke Oa, ab, bc etc. entsprechend je 30 Sec. ab; es sei AB gleich der Länge des Muskels, so wird der untere Punct B desselben im Laufe der Beobachtung eine Curve beschreiben. Wir gewinnen sie, wenn BC parallel OX gezogen, in a, b, c etc. Perpendikel errichtet werden, welche BC in resp. a', b', c' etc. schneiden und nun auf aa', bb', cc' etc. von a' b' c' aus die Dehnungen aufgetragen werden, welche den jedesmaligen 30 Sec., während welcher der Muskel belastet war, entsprechen. Da diese Dehnungen stetig bis zu einer gewissen Grenze zunehmen, und da die Differenzen zwischen je zwei auf einander folgenden Dehnungen stetig abnehmen, bis sie zuletzt ganz verschwinden, so erhalten die so gewonnenen Curven eine nach der Abscisse hin convexe Gestalt und schliessen sich dieser zuletzt asymptotisch an.

Zweitens wurden nun an derselben Muskelgruppe anderer Frösche dieselben Versuchsreihen durchgeführt, während die Muskeln in den Kreis einer constanten Batterie von 10—25 Daniellschen Elementen eingeschaltet waren. Um den Muskel in den Kreis der Batterie einzuschalten, wurde an dem verticalen Stahlstabe[2]) vv dicht oberhalb des Rahmens rr ein horizontaler dünner Kupferdrath angelöthet, welcher sich nach einer Seite hin so weit erstreckte, dass er die Peripherie des Oelgefässes O um etwa 1½ Zoll überragte. Von da ab bog er sich vertical herab und tauchte mit einer Platinspitze in eine Quecksilberschaale. Wurde in diese ein Poldrath der Batterie geleitet, während der andre an das Ende des dreikantigen Spiesses angeschraubt war, so ging der Strom der Batterie durch den Muskel. — Die auf diese Weise an durchströmten Muskeln gewonnenen Dehnungscurven zeigten dieselben allgemeinen Charaktere, wie die Curven der ersten

1) S. Tab. III, Fig. 2.
2) S. Tab. I.

Versuchsreihe: stetige Abnahme der Steilheit bis zum asymptotischen Anschluss an die Abscisse.

Endlich führte ich die Versuche auf folgende Weise durch: der Muskel wurde, wie früher, 30 Sec. belastet und darauf, bis zur Annahme einer in 30 Sec. constanten Länge, entlastet, sodann wurde er 60 Sec. lang in den Kreis der Batterie eingeschaltet und während der zweiten Hälfte dieser Minute von Neuem durch das Gewicht gedehnt. Darauf wurde der Stromkreis geöffnet, das Gewicht entfernt, um zur passenden Zeit ohne gleichzeitigen Strom wieder 30 Sec. lang auf die Schaale gelegt zu werden u. s. f. Es liegt nun auf der Hand, dass in dem Falle, dass unter dem Einflusse des Stromes die Dehnbarkeit des Muskels grösser wurde, die Dehnungscurve nicht eine stetige Abnahme der Steilheit zeigen konnte. Sie mussten dann wechselnde Steilheit haben, an den Puncten, die dem Strome entsprachen, grösser, als an den dazwischen liegenden Puncten. Die Curven mussten also etwa die Gestalt haben, wie sie in der Figur durch die Linie $\alpha\beta'\ \gamma'\ \delta'\ \varepsilon'$ angegeben ist.

Diese erwartete Gestaltveränderung trat aber in den Versuchen der dritten Reihe nicht ein. Es geht daraus hervor, dass der galvanische Strom an sich ohne, wenigstens bei den angewandten Beobachtungsmitteln sichtbaren, Einfluss auf den Elastizitätscoefficienten ist. Möglich freilich, dass ein Einfluss von so geringer Grösse vorhanden ist, dass er mit den benutzten Instrumenten nicht zu entdekken war. Dann würde er aber nicht hinreichen, um Webers Resultate daraus abzuleiten. Letztere sind mithin von dieser Seite her unantastbar.

Ich habe dieser kleinen Abhandlung die zum Belege dienenden Curven nicht beigefügt, weil sie an sich kein besonderes Interesse weiter haben.

Dritter Artikel

Ueber Wiederherstellung der erloschenen Erregbarkeit der Muskeln durch constante galvanische Ströme.

(Hierzu Tab. III, Fig. 1.)

I.

Bei Gelegenheit der im zweiten Artikel mitgetheilten Untersuchungen über die Elastizität der Muskeln bemerkte ich folgende auffallende Erscheinung: Ein Muskel hatte sich lange Zeit im Kreise eines constanten Stromes von nicht unbeträchtlicher Intensität befunden. Bei Oeffnung des Kreises zuckte er stark; nachdem er kurze Zeit ausserhalb des Stromes gewesen, beantwortete er weder die Schliessung noch die Oeffnung der Batterie durch die leiseste Spur von Contraction. Die Reactionsfähigkeit kehrte wieder, nachdem der Strom eine Zeit lang durch ihn hindurchgegangen war: der Muskel zuckte bei der Oeffnung der Batterie, bald darauf folgende Schliessung hatte keinen sichtlichen Erfolg, dagegen rief schnell erneute Oeffnung neue, doch schwächere Zuckung hervor. Das Spiel liess sich eine gewisse Zeit lang fortsetzen: bei kurz auf einander folgenden Schliessungen und Oeffnungen waren letztere stets von Zuckungen begleitet, deren Grösse immer mehr und mehr sank, bis sie zuletzt ganz ausblieben. Ich hielt den Muskel für ermüdet und liess ihn lange Zeit ausserhalb des Stromeskreises, damit er sich erhole, doch kehrte die Leistungsfähigkeit von selbst nicht

zurück, nicht eher, als bis der Muskel wieder längere Zeit vom Strome durchflossen worden war.

Es schien also, dass der constante Strom die erloschene Erregbarkeit wiederherstelle. Nur eins blieb zu bedenken: der Muskel war durch einen constanten Strom leistungsunfähig geworden. Die ganze Erscheinung konnte vielleicht dem dunkeln Gebiete angehören, welches, unter dem Titel der Modificationen der Erregbarkeit durch constante Ketten, eine seiner Verworrenheit wegen berüchtigte Rolle in der Electrophysiologie spielt, und dessen Bearbeitung Herr C. Eckhard, zufolge einiger Andeutungen im ersten Hefte seiner „Beiträge zur Anatomie und Physiologie," unter den Händen hat. In diesem Falle hätte ich die Sache auf sich beruhen lassen, um nicht mit Herrn Eckhard dasselbe Gebiet zu bearbeiten und mit etwaigen mühsam errungenen Resultaten später als Jener an die Oeffentlichkeit zu treten; denn ich würde bei anerkannter Priorität der Publication eines andern Forschers mich stets scheuen, die Priorität der Entdeckung für mich in Anspruch zu nehmen, — ein Verfahren, welches Herr Eckhard in Bezug auf meine Untersuchungen über den Vagus und die Nerven der Froschlymphherzen befremdlicher Weise eingeschlagen hat. (Vergl. dessen „Beiträge" pg. 51 bis 53.) Der Erfolg einiger weiterer Versuche lehrte mich indessen, dass die beobachtete Erscheinung zunächst keineswegs in Beziehung zu jenen „Modificationen der Erregbarkeit" stehe, und so nahm ich denn die weitere Erforschung des räthselhaften Factums auf. Als allgemeines Resultat sehr vieler langer Versuchsreihen, bei denen ich mir die möglichste Genauigkeit dringend angelegen sein liess, kann ich folgenden Satz hinstellen:

Wenn ein Muskel auf irgend eine, die materielle Structur nicht zu grob verletzende, Weise seiner Leistungsfähigkeit so weit beraubt ist,

dass er weder auf Schliessung und Oeffnung einer Daniell'schen Batterie von durchschnittlich 25 Elementen [1]), noch auf die stärksten Schläge des Magnetelectromotors von du Bois-Reymond [2]) mit einer leisen Spur von Zuckung antwortet: so erlangt er seine verlorene Leistungsfähigkeit in geringerem oder grösserem Masse wieder, wenn er kürzere oder längere Zeit von dem Strome der oben bezeichneten Batterie in ab- oder aufsteigender Richtung durchflossen worden ist.

Da dieser Satz gewiss sehr paradox klingt, halte ich es für angemessen, meine Untersuchungen mit grösster Genauigkeit mitzutheilen, um jedem Leser über die Art und die Resultate der Versuche eine Uebersicht zu geben, welche eine Beurtheilung derselben zulässt.

II.

Zur Befestigung der Muskelgruppe des add. magnus und semimembranosus des Frosches, welche bei allen folgenden Experimenten benutzt ist, und zur genauen Messung der Contractionsgrössen wandte ich denselben Apparat an, welchen

---

1) Die von mir bei diesen Untersuchungen angewandte Batterie bildet den vierten Theil einer der Kgl. Akademie der Wissenschaften angehörigen hundertgliedrigen Daniell'schen Säule, deren Benutzung mir durch die Güte des Hrn. Prof. du Bois-Reymond gestattet ward.

2) Die primäre Rolle des Magnetelectromotors war ganz mit Drathbündeln ausgefüllt, die secundäre Rolle vollständig über die primäre geschoben, Stromesquelle ein mittelgrosses Daniell'sches Element. Dies gilt für alle Versuche des vorliegenden Artikels.

ich bei meinen Untersuchungen über Muskeltonus an Fröschen gebraucht und in Artikel I. beschrieben habe. Zum Verständnisse der folgenden Versuche brauche ich nur hinzuzufügen, auf welche Weise der Muskel in die Kreise verschiedner Ströme eingeschaltet wurde. Aus dem bekannten Pohl'schen Gyrotropen [1]) wurde das Kreuz entfernt, welches zur Stromesumkehr beim Umlegen der Wippe dient. So kann man das Instrument benutzen, um durch irgend einen Leiter, dessen beide Enden mit den mittlern der sechs Quecksilbernäpfchen, n und n', in Verbindung stehen, Stromesquellen zu Kreisen zu schliessen, welche mit ihren Enden in eins der beiden seitlichen Paare von Quecksilbernäpfchen, aa' und bb', übergehen. Steht also z. B. der positive Pol einer Volta'schen Combination mit dem Näpfchen b in Verbindung, der negative Pol mit dem Näpfchen b', so wird die Batterie geschlossen, wenn die linken Enden der Wippe in b und b' ruhen. Der Strom geht dann von b nach n, durch den zwischen n und n' eingeschalteten Leiter nach n' von hier nach b' und zur Batterie zurück. Legt man die Wippe um, so kann der zwischen n und n' befindliche Leiter eine Stromesquelle zum Kreise schliessen, welche in a und a' endet. Bei meinen Versuchen standen mit a und a' die Enden der secundären Rolle des Magnetelectromotors in Verbindung, so dass die Inductionsschläge bei der zweiten Lage der Wippe durch den n und n' verbindenden Leiter gingen. In b und b' dagegen liefen der positive resp. negative Poldrath einer Daniell'schen Batterie von durchschnittlich 25 Elementen aus [2]), deren Strom bei der ersten Lage der Wippe von n nach n' durch den Zwischenleiter gehen musste. Da wir später vielfach von den beiden Lagen

---

1) Fig. 1 der Taf. III. giebt ein Schema der Anordnung des Versuches.

2) Die Zahl wechselte nur zwischen 22 und 25.

der Wippe zu reden haben, will ich der Kürze halber die Lage, bei welcher die Inductionsrolle zum Kreise geschlossen ist, als die Lage I., die andre Lage, bei welcher die Batterie geschlossen ist, als die Lage II. bezeichnen.

Ein Theil des Zwischenleiters zwischen n und n' war nun der Muskel. Zu dem Quecksilbernäpfchen n ging nämlich ein Kupferdrath, der an das eine Ende des dreikantigen Spiesses bb [1]) mittelst der Schraube d angeschraubt war. Der in Artikel II. beschriebene, oberhalb des Rahmes rr an den Stahlstab v angelöthete Kupferdrath tauchte mit seinem untern Platinende ebenfalls, wie bei den Versuchen der zweiten Abhandlung, in ein Quecksilberschälchen, welches durch einen andern Kupferdrath mit dem Näpfchen n' in Verbindung stand. Bei dieser Anordnung ging bei der Lage II. der Wippe der Strom, wenn der positive Pol bei b endete, von hier nach n, durch den einen Drath zu dem stählernen Spiesse, durch die Schambeinfuge, im Muskel abwärts, durch das obere Schienbeinende [2]) zu dem verticalen Stahlstabe, durch den an ihm befestigten Kupferdrath und dessen Platinende in das Quecksilber des kleinen eingeschalteten Porzellanschälchens, von hier durch den Zwischendrath nach n', b' u. s. f. Der Muskel wurde also in absteigender Richtung durchflossen. Um dem Strome im Muskel aufsteigende Richtung zu geben, durfte nur der positive Pol der Batterie mit b', der negative mit b verbunden werden. Die im feuchten Theile des Zwischenleiters erzeugten Jonen sammelten sich

---

1) S. Tab. I.

2) Dieses dünne Knochenstückchen bildet den Theil des Zwischenleiters, in welchem, seines geringen Qeurschnittes wegen, der Strom den grössten Widerstand findet. Zur Verminderung des Widerstandes vergrösserte ich den Querschnitt dadurch, dass ich das obere Stück des gastrocnemius an dem der tibia hängen und mit seinem quer abgeschnittenen Ende die Schraube k in möglichst grosser Ausdehnung berühren liess.

an der Grenze der Schaambeinfuge und des Stahlspiesses einer-, an der Grenze der tibia und der Schraube k andrerseits. Je nach der Richtung des Stromes wurde oben Sauerstoff, unten Wasserstoff, oder umgekehrt oben Wasserstoff, unten Sauerstoff abgelagert. Der Sauerstoff oxydirt sofort das an beiden Orten befindliche Eisen und kann deshalb nicht polarisirend wirken; der Wasserstoff polarisirt Eisen nur schwach, so dass die Polarisationen an den beiden den Muskel begrenzenden Knochentheilen für die Resultate unserer Versuche wohl ganz ausser Acht fallen dürfen.

Nachdem die Vorrichtungen der Versuche beschrieben, gehe ich zu den einzelnen Reihen über. Um jeden Verdacht zu beseitigen, dass die untersuchten Erscheinungen in den Bereich der früherhin schon beobchteten und besserer Behandlung für die vielfach erfahrenen Misshandlungen entgegensehenden, *κατ' ἐξοχήν* sogenannten „Modificationen der Erregbarkeit durch constante Ketten“ fallen, sehe ich ganz von denjenigen Versuchen ab, welche ich an Muskeln anstellte, die durch constante Ströme bis zur Erregungslosigkeit ermüdet waren. Ich werde nur solche Versuche anführen, die sich auf Muskeln beziehen, welche durch wechselseitig gerichtete Inductionsschläge des Magnetelectromotors, durch Erwärmung und durch mechanische Misshandlung ihrer Leistungsfähigkeit beraubt wurden. Da die auf die letzte Weise behandelten Muskeln materiell am wenigsten destruirt waren, so habe ich an ihnen die Gesetze kennen zu lernen gesucht, welche sich bei der Wiederherstellung der Erregbarkeit durch constante Stöme geltend machen.

Um die Beobachtungsresultate übersichtlicher zusammenzustellen, habe ich sie in Tabellen gebracht und diesen überall möglichst gleiche Form gegeben.

Die erste Columne der folgenden Tabellen enthält stets die Nummer der in gleicher Horizontallinie angeführten Beobachtung.

Die zweite Columne, A, giebt die Zeit in Secunden an, während welcher der Kreis der Batterie durch den Muskel vor der Beobachtung geschlossen war. Wo diese Columne unausgefüllt ist, war der Kreis der Batterie vor der Beobachtung nicht geschlossen, der Muskel also frei vom Strome. Wie lange dies stattgefunden, giebt die dritte Columne, B, an.

In der vierten Columne, a, stehen in Millimetern die Grössen der Zuckungen, welche der Muskel machte, wenn die Batterie durch ihn so lange, als in der zweiten Columne (A) angegeben ist, geschlossen gewesen war und dann durch Umlegen der Wippe geöffnet wurde. Die vierte Columne (a) kann also immer nur dann ausgefüllt sein, wenn es die zweite (A) ist. Steht dagegen die letztere leer, während dafür die dritte Columne (B) ausgefüllt ist, d. h. also, war der Muskel nicht in den Kreis der Batterie eingeschaltet gewesen, hatte sich die Wippe die in der Columne (B) angegebene Zeit in der Lage I befunden, so konnte durch die Batterie nur Zuckung hervorgerufen werden, wenn sie vermittelst der Wippe geschlossen und schnell wieder geöffnet wurde, wenn also die Wippe die Lage I mit der Lage II vertauschte und letztere sofort, so schnell die Bewegung der Hand es gestattete, wieder mit der ersteren Lage wechselte. Die Grösse der unter diesen Umständen beobachteten Zukkung ist in der fünften Columne (b) verzeichnet.

Die sechste Columne (β) giebt die Grösse der Zuckungen an, welche durch die intensivsten Schläge des Magnetelectromotors erzielt wurde, wenn unmittelbar bevor diese den Muskel trafen, die Batterie nicht durch den Muskel geschlossen gewesen war, wenn die Wippe sich also vorher in der Lage I befunden hatte. Dies konnte unter zwei Umständen der Fall sein: einmal, wie sich von selbst versteht, dann, wenn die dritte Columne (B) ausgefüllt ist, also der Muskel die in dieser angegebne Secundenzahl hindurch frei

vom Strome der Batterie gewesen war; ferner aber auch, wenn die zweite Columne (A) ausgefüllt ist, d. h. der Strom der Batterie durch den Muskel gegangen war. Dann wurde mit der Durchleitung der Inductionsströme durch den Muskel gewartet, bis die in der Columne a angegebene Oeffnungszuckung beendet war. In beiden Fällen wurden die Inductionsschläge dem Muskel plötzlich dadurch zugeführt, dass, während die Wippe in der Lage I ruhte, die Feder des Magnetelectrometors zur passenden Zeit in Bewegung gesetzt wurde.

Die Zahlen der siebenten Columne (α) endlich bedeuten Contractionsgrössen, die so erlangt wurden, dass die Wippe aus der Lage II in die Lage I übergeführt wurde, während die Feder des Magnetelectromotors spielte. Dann treffen also die Schläge des Magnetelectromotors den Muskel unmittelbar nach Oeffnung der Batterie, noch bevor die etwaige Oeffnungszuckung beendet ist. Auch hier kann der Fall doppelt sein. Entweder ist der Kreis der Batterie längere Zeit geschlossen gewesen und die Wippe wird unter den genannten Umständen einfach umgelegt; in diesem Falle ist natürlich bei der entsprechenden Beobachtung die Columne (A) ausgefüllt. Oder der Batteriekreis ist geöffnet gewesen, die Wippe ist also in der Lage I. Aus dieser wird sie nach der in der Columne B angegebenen Zeit, nachdem unmittelbar vorher die Feder des Magnetelectromotors in Bewegung gesetzt ist, in die Lage II über- und sofort in die Lage I zurückgeführt. Der Strom der Batterie ist also nur eine sehr kurze Zeit, einen kleinen Bruchtheil einer Secunde geschlossen gewesen, und verschwindend kleine Zeit nach seinem Aufhören treffen die Inductionsschläge den Muskel.

Ich habe hier von vornherein die Bedeutung der einzelnen Columnen der Tabellen weitläufiger auseinandergesetzt,

weil sich der Inhalt dieser Erklärung unmöglich in eine kurze, den Columnen vorauszusetzende Ueberschrift zusammenfassen lässt. Ich muss meine Leser dringend bitten, sich das eben Gesagte zu merken, weil es für das Verständniss meiner Untersuchungen unentbehrlich ist.

III.

Nunmehr kann ich zur Mittheilung einiger von meinen Beobachtungstabellen übergehn, um an jede einzelne oder an mehrere zusammengehörige die sich aus ihnen ergebenden Schlüsse zu knüpfen.

Tab. I.

Muskel durch Tetanisiren in hohem Grade ermüdet, so dass die Inductionsschläge des Electromotors nur sehr kleine Contractionen zur Folge haben.

Strom der Batterie aufsteigend. — Nach längerer Ruhe:

No.	A	B	a	b	β	α	No.	A	B	a	b	β	α
	Sec.	Sec.	Mm.		Mm.	Mm.		Sec.	Sec.	Mm.		Mm.	Mm.
1.	60	—	1	—	1,8		17.	30	—	0,2	—	0,15	
2.	120	—	1,1	—	1,8		18.	90	—	0,25	—	0,25	
3.	—	60	—	0	0,6		19.	—	30	—	0	0,05	
4.	60	—	1,1	—	1,2		20.	30	—	0,2	—	0,15	
5.	—	120	—	0	0,4		21.	30	—	—	—	—	0,45
6.	60	—	0,6	—	0,6		22.	—	60	—	0	0,05	
7.	—	300	—	0	0,1		23.	—	240	—	0	0,05	
8.	120	—	0,4	—	0,4		24.	60	—	0,15	—	0,15	
9.	120	—	0,6	—	0,6		25.	120	—	0,2	—	0,15	
10.	—	60	—	0	0,3		26.	—	180	—	—	kaum merklich	
11.	—	60	—	0	0,15								
12.	60	—	0,4	—	0,4		27.	—	180	—	0	0	
13.	60	—	0,4	—	0,4		28.	60	—	0,1	—	0,1	
14.	120	—	0,4	—	0,4		29.	120	—	0,15	—	0,1	
15.	—	60	—	0	0,15		30.	180	—	0,3	—	0,1	
16.	—	60	—	0	0,05		31.	—	90	—	0	0,05	

Tab. II.

Muskel durch Tetanisiren mittelst des Magnetelectromotors seiner Erregbarkeit beraubt, so dass er 24 Minuten, nachdem das Tetanisiren beendet war, weder auf den Strom der Batterie, noch auf die Inductionsschläge des Magnetelectromotors reagirte.

Strom der Batterie im Muskel absteigend. — Nach der erwähnten Pause von 24 Minuten folgende Beobachtungsreihe:

No.	A	B	a	b	β	α	No.	A	B	a	b	β	α
	Sec.	Sec.	Mm.			Mm.		Sec.	Sec.	Mm.			Mm.
1.	120	—	0,95	—	0 *)	—	30.	60	—	0,2	—	—	—
2.	—	120	—	0	0	0	31.	—	60	—	0	—	0
3.	—	120	—	0	0	0	32.	60	—	—	—	—	0,25
4.	60	—	0,5	—	—	—	33.	—	60	—	0	—	0
5.	60	—	—	—	—	1,3	34.	60	—	0,15	—	—	—
6.	—	45	—	0	0	—	35.	—	60	—	0	—	0
7.	60	—	0,8	—	—	—	36.	60	—	—	—	—	0,25
8.	—	120	—	0	0	—	37.	—	40	—	0	—	0
9.	60	—	—	—	—	0,95	38.	60	—	0,06(?)	—	—	—
10.	—	60	—	0	0	—	39.	—	60	—	0	—	0
11.	60	—	0,5	—	—	0,7**)	40.	60	—	—	—	—	0,26
12.	—	120	—	0	0	—	41.	—	40	—	0	—	0
13.	50	—	0,45	—	—	0,55	42.	60	—	0,2	—	—	—
14.	60	—	0,25	—	—	0,58	43.	—	60	—	0	—	0
15.	60	—	0,15	—	—	0,35	44.	60	—	—	—	—	0,25
16.	—	30	—	0	—	0	45.	—	60	—	0	—	0
17.	60	—	0,15	—	—	0,35	46.	60	—	0,2	—	—	—
18.	—	120	—	0	—	0	47.	—	30	—	0	—	0
19.	60	—	0,2	—	—	0,35	48.	60	—	—	—	—	0,25
20.	—	180	—	0	—	0	49.	—	540	—	0	—	0
21.	90	—	—	—	—	0,4	50.	60	—	0,1	—	—	—
22.	60	—	0,15	—	—	—	51.	—	60	—	0	—	0
23.	—	60	—	0	—	0	52.	60	—	—	—	—	0,2
24.	60	—	—	—	—	0,2	53.	—	30	—	0	—	0
25.	—	60	—	0	—	0	54.	60	—	0,15	—	—	—
26.	60	—	0,1	—	—	—	55.	120	—	0,15	—	—	—
27.	—	60	—	0	—	0	56.	—	120	—	0	—	0
28.	60	—	—	—	—	0,25	57.	120	—	0,15	—	—	0,25
29.	—	60	—	0	—	0							

*) Die Inductionsschläge nach Vollendung der Oeffnungscontraction durch den Muskel geleitet.

**) Nachdem die in Columne a verzeichnete Oeffnungscontraction vorüber war, wurde die Wippe in die Lage II. und gleich darauf, während die Feder des Magnetelectromotors spielte, in die Lage I. gebracht. Ebenso überall, wo die Columnen a und α gleichzeitig ausgefüllt sind. In allen diesen Fällen konnte durch den Magnetelectromotor allein, wenn nicht vorher der Batteriekreis momentan auf die früherhin erörterte Weise geschlossen gewesen war, keine Zuckung erhalten werden.

Diese beiden Tabellen sprechen für sich selbst. Der Muskel der ersten Tabelle war seiner Leistungsfähigkeit durch das Tetanisiren noch nicht ganz beraubt. Denn wenn auch der Strom der Batterie keine Zuckungen mehr hervorzubringen im Stande war, so veranlassten doch die Inductionsschläge sehr kleine Zuckungen. Was tritt ein, nachdem der Strom der constanten Batterie 60″ und 120″ lang in aufsteigender Richtung durch den Muskel gegangen war? Erstens bekommen wir eine, vorher ganz fehlende, Oeffnungszuckung von 1mm und 1, 1mm; zweitens wird die Einwirkung der Inductionsschläge, die nach Beendigung der Oeffnungscontraction durch den Muskel in schneller Folge und wechselnder Richtung geleitet wurde, von grösserem Effecte begleitet, als vorher. Sollte der Muskel sich wieder Vermuthen plötzlich so schnell erholt haben? Wir lassen ihm 60 Sec. Ruhe, damit er sich noch weiter erhole. Mit nichten! Der Strom der Batterie ist, sowohl bei Schliessung als bei Oeffnung, nach Angabe der Columne b, ganz ohne Effect; die Inductionsschläge bringen nur noch eine Contraction von 0,6 mm zu Stande, während die der Beobachtung 1 und 2 das Dreifache, 1,8 mm, betrug. Wir fahren in unseren Beobachtungen fort, indem wir den Muskel abwechselnd eine Zeit lang in den Kreis des constanten Stromes einschalten, dann wiederum eine Zeit lang daraus entfernen. Diese Operationen haben stets denselben Effect: Steigerung der Erregbarkeit im ersten, schnelles Sinken derselben im zweiten Falle. Je länger die constante Batterie offen gewesen, desto geringern Erfolg haben die Inductionsschläge. Das zeigt No. 7., wo nach 300 Sec., während welcher der Muskel vom Batteriestrome frei gewesen war, die Columne β nur noch 0,1 mm angiebt, und No. 26 und 27, wo nach je 180 Sec. die Erregbarkeit ganz geschwunden ist, während in No. 28. schon nach 60 Sec. langer Schliessung der Batterie eine Oeffnungs-

contraction von 0,1 mm und nach deren Beendigung durch die Inductionsschläge eine ebenso grosse Zuckung erhalten wird. —

Im Allgemeinen macht sich während der Dauer der Versuchsreihe eine deutliche Ermüdung des Präparates geltend. Denn durch gleich lange Schliessung des constanten Stromes lässt sich am Anfange der Reihe die Erregbarkeit in viel höherem Maasse restituiren, als am Ende. Bei No. 1. haben wir nach 60″ langer Schliessung eine Oeffnungscontraction von 1,0mm, bei No. 28. nur von 0,1mm, das darf wenig Wunder nehmen, denn durch Electrolyse wird der Muskel sicher in hohem Grade materiell destruirt. In No. 21. ist nach 30″ langem Schluss der constanten Batterie die Wippe so umgelegt, dass noch vor Beendigung der Oeffnungscontraction die Inductionsschläge durch den Muskel gehen und ihre Wirkung zu der der Oeffnung addiren. Wir erhalten eine Contraction von 0,45mm, viel grösser als die Effecte alleiniger Oeffnung der Batterie oder alleiniger Einleitung der Ströme des Magnetelectromotors. Dass die Steigerung der Contraction unter diesen Umständen constant eintritt, lehrt Tab. II.

In dieser Beobachtungsreihe war durch die wechselseitig gerichteten Inductionsschläge des Magnetelectromotors der Muskel seiner Erregbarkeit völlig beraubt, denn nach 24 Min. liess sich auf keine Weise auch nur die leiseste Spur von Zuckung erhalten. Zwei Minuten lange Einwirkung des constanten, absteigend im Muskel gerichteten, Batteriestromes reichte hin, um eine Oeffnungszuckung von 0,95mm herbeizuführen. Als nach Vollendung derselben der Muskel durch Inductionsschläge zur Contraction veranlasst werden sollte, war er für diese schon unerregbar geworden. Wie also? Stellt der constante Strom in dem Muskel einen Zustand her, welcher Zuckung nur dann eintreten lässt, wenn der

Strom geöffnet wird, aber auf die Inductionsschläge nicht reagirt? Keineswegs. Die folgenden Beobachtungen lehren, dass auch die Inductionsströme wirksam sind, doch mit einer Beschränkung. Sie sind es nicht, wenn zwischen der Oeffnung der Batterie und ihrer Einwirkung eine gewisse Zeit verstrichen ist, welche in den vorliegenden Fällen der Dauer der Oeffnungscontraction gleich kommt; sie sind aber erweislich wirksam, wenn sie sofort nach Oeffnung der Batterie durch den Muskel geführt werden. Dies geschieht, wie schon mehrmals bemerkt, dadurch, dass vor der Oeffnung der Batterie die Feder des Magnetelectromotors in Bewegung gesetzt und dann die Wippe mit einer schnellen Handbewegung aus der Lage II in die Lage I übergeführt wird. Auf den ersten Anblick scheint es, als ob der Ursprung der Contraction, die unter diesen Umständen beobachtet wird, nicht nachgewiesen werden könne: sie könnte ja durch die blosse Oeffnung der Batterie herbeigeführt sein. Doch widerlegt sich dieser Einwurf leicht, wenn man in No. 11. bis 57. die Zahlen der Columnen a und α vergleicht. In No. 11. bis 19. verfuhr ich so, dass ich nach Ablauf der in der Columne A angegebenen Zeit die Batterie öffnete, die sub a angegebne Contraction merkte, dann die Feder des Magnetelectromotors spielen liess und die Wippe mit möglichst schneller Handbewegung in die Lage II und aus dieser in die Lage I. brachte. Dadurch wurde die Batterie einen kleinen Bruchtheil einer Secunde lang geschlossen, und gleich nach ihrer Oeffnung der Muskel von den Inductionsströmen getroffen. Die momentane Schliessung der Batterie stellte den erregbaren Zustand des Muskels wieder so weit her, dass der Effect der Inductionsströme deutlich eintreten konnte. Er zeigt sich darin, dass die auf die letzte Art erzeugten Contractionen stets grösser sind, als die, welche auf blosse Oeffnung der Batterie beobachtet wurden. — Von No. 23. bis 57. änderte

ich das Verfahren noch ein wenig. Der Batteriestrom wurde 60'' lang durch den Muskel (No. 22.) geführt, die Oeffnungscontraction beobachtet, dann 60 Sec. pausirt (No. 23.), in welchen die wiederhergestellte Erregbarkeit geschwunden war. Darauf neue 60 Sec. Strom durch die Muskel (No. 24.), Oeffnung und sofortige Schliessung der Inductionsrolle, während die Feder spielte. Neue Pause u. s. f. in regelmässigem Wechsel, wie es die Tabelle angiebt. Auch hier sind die Zahlen der Columne α stets höher als die der Columne a. Die Verhältnisse, unter welchen beide Beobachtungsarten angestellt wurden, waren ganz dieselben bis darauf, dass in der einen Reihe von Fällen der Oeffnung sofort die Inductionsströme folgten. Und wenn nun in diesen Fällen der Effect ausnahmslos grösser ist, als der auf blosse Oeffnung des constanten Stromes eintretende, so kann diese Steigerung desselben nur der Einwirkung der Inductionsströme zugeschrieben werden. Der Muskel muss also unmittelbar nach Oeffnung der Batterie für die Inductionsströme erregbar sein. Es ist dieser Punct sehr wichtig, und ich werde später noch mit grösserer Ausführlichkeit und mit weiteren factischen Belegen den Beweis führen, dass die soeben gegebene Darstellung die richtige ist.

IV.

Tab. III.

Präparat durch lange Einwirkung warmen Wassers von 28—30 ° C. seiner Erregbarkeit völlig beraubt. Beim Beginn der Versuchsreihe reagirte es auf die Inductionsschläge zwar, doch so schwach, dass der horizontale Faden des Fadenkreuzes im Fernrohr die Breite eines Theilstriches*) auf der Scala nicht verliess.

Strom der Batterie im Muskel absteigend.

No.	A	B	a	b	β	α	No.	A	B	a	b	β	α
	Sec.	Sec.	Mm.			Mm.		Sec.	Sec.	Mm.			Mm.
1.	120	—	0,4	—	—	—	15.	—	120	—	0	0	—
2.	120	—	0,6	—	—	—	16.	180	—	0,3	—	—	—
3.	120	—	0,6	—	—	1,4	17.	60	—	0,2	—	—	—
4.	—	90	—	0	0	—	18.	—	305	—	0	0	—
5.	90	—	0,4	—	—	0,6	19.	60	—	0,1	—	—	—
6.	—	105	—	0	0	0	20.	120	—	0,2	—	—	—
7.	105	—	0,4	—	—	0,6	21.	—	180	—	0	0	—
8.	120	—	0,4	—	—	—	22.	60	—	0,05	—	—	—
9.	180	—	0,4	—	—	—	23.	120	—	0,15	—	—	—
10.	—	60	—	0	0	—	24.	—	930	—	0	0	—
11.	60	—	0,2	—	0	—	25.	60	—	merklich, nicht messbar.	—	—	—
12.	180	—	—	—	—	0,3							
13.	—	180	—	0	0	—	26.	120	—	0,1	—	—	—
14.	120	—	0,2	—	—	0,3	27.	180	—	0,13	—	—	—

Während der Beobachtungsreihe hat sich der Muskel im Ganzen um 0,95 Mm. verkürzt.

---

*) Theilstrich nicht zu verwechseln mit Grad der Scala! Theilstrich ist eben nur der 2 Grade trennende Strich der Theilung.

Tab. IV.

Präparat, welches von einem 36 Stunden früher mit Strychnin vergifteten Frosche stammte, in Wasser von 28—30° C. in 40 Minuten seiner Erregbarkeit beraubt. 12 Minuten, nachdem es an dem Apparate angebracht worden war, zeigte es weder bei Anwendung des Batteriestromes noch bei Anwendung der Inductionsströme eine Spur von Zuckung.

Dann wurde mit aufsteigendem constanten Strome folgende Beobachtungsreihe angestellt:

No.	A	B	a	b	β	α	No.	A	B	a	b	β	α
	Sec.	Sec.	Mm.		Mm.	Mm.		Sec.	Sec.				Mm.
1.	60	—	deutlich, nicht messbar		deutlich, nicht messbar		21.	180	—	—	—	—	0,05
2.	120	—	0,1	—	0,1	—	22.	—	180	—	—	—	0
3.	—	120	—	0	0	—	23.	180	—	—	—	—	0,03
4.	120	—	—	—	—	0,1	24.	—	180	—	0	—	0
5.	—	60	—	—	0	—	25.	60	—	—	—	—	?
6.	60	—	0,05	—	0,05	—	26.	180	—	—	—	—	0,03
7.	60	—	—	—	—	0,1	27.	—	180	—	0	—	0
8.	—	60	—	—	0	—	28.	180	—	—	—	—	0,03
9.	—	60	—	—	0	—	29.	—	180	—	—	—	0
10.	60	—	0,03	—	—	—	30.	180	—	0	—	—	0
11.	60	—	—	—	—	0,1	31.	180	—	—	—	—	0
12.	—	120	—	0	0	—	32.	180	—	—	—	—	0,02
13.	60	—	—	—	—	0,05	33.	180	—	—	—	—	0,03
14.	60	—	—	—	—	0,05	34.	—	90	—	—	—	0
15.	—	180	—	0	0	—	35.*)	300	—	—	—	—	merkl., nicht messbar
16.	120	—	deutlich nicht messbar	—	—	0,03	36.	180	—	—	—	—	
							37.	300	—	—	—	—	Spur.
17.	—	90	—	0	0	—	38.	—	300	—	—	—	0
18.	60	—	wie ob.	—	—	0,03	39.	300	—	—	—	—	?
19.	120	—	0,03	—	—	0,05	40.	300	—	—	—	—	deutl. Spur.
20.	—	60	—	0	0	0	41.	300	—	—	—	—	

Während der Dauer des Versuches ist der Muskel um 2,3 Mm. kürzer geworden.

---

*) Von No. 35. ab beobachtete Herr Ed. Pflüger.

Nachdem ich die beiden ersten Tabellen weitläufiger besprochen habe, wird es dem aufmerksamen Leser leicht sein, sich in die Tab. III. und IV. zu finden. Sie liefern den Beweis, dass die Erregbarkeit der Muskel nicht gerade auf electrischem Wege vernichtet zu sein braucht, um durch constante Ströme wieder hergestellt zu werden. Wir haben Muskeln vor uns, welche durch Einwirkung einer der Blutwärme höherer Thiere nahen Temperatur unerregbar geworden, und was besonders interessant ist, beim Beginn der Beobachtungsreihen der Todtenstarre so nahe sind, dass sie während der Versuche von derselben befallen werden. Schon anfangs ihrer eigenthümlichen Durchsichtigkeit zum Theile beraubt, verloren sie dieselbe wärend des Experimentirens immer mehr und mehr, um dafür ein matt milchweissliches Ansehn einzutauschen. Der wirkliche Eintritt und allmählige Fortschritt der Todtenstarre spricht sich unverkennbar in der Längenabnahme aus, welche die Muskeln allmählig erleiden. Sie trat nicht bloss in den beiden Fällen, die ich hier als Beispiele angeführt habe, sondern in allen andern Fällen ein, in welchen höhere Temperaturgrade zur Vernichtung der Erregbarkeit gedient hatten. Es lässt sich also noch auf der Scheidegrenze, an welcher die letzten Spuren vitaler Phänomene verschwinden, welche dem Muskelstrome ein Ziel setzt, um ihn für immer verloren gehen zu lassen, noch hart an dieser Grenze lässt sich die Erregbarkeit durch den constanten voltaelectrischen Strom wieder herstellen. Räthselvoller Mechanismus, welcher, anscheinend schon aus den Fugen gewichen, unter dem Einflusse einer Kraft, die wir sonst als auflösende, als zersetzende auf durchfeuchtete Körper wirken sehen, sich wieder ordnet, wenigstens so weit, um in schwachen aber deutlichen Zügen zu zeigen, was er während des Lebens war! —

Ich habe zu Tab. III. und IV. sonst kaum noch Etwas

hinzuzusetzen. Vielleicht ist es interessant, in der letztern Tabelle zu sehen, wie mit der Dauer des Versuches die Wirkungen immer schwächer werden, und immer längere Zeiten des Geschlossenseins der Batterie erforderlich machen, um hervorzutreten —, Verhältnisse, die wir später noch weiter würdigen lernen werden.

V.

Wir wenden uns jetzt zu den Fällen, in welchen die Muskeln in Folge mechanischer Misshandlung ihrer Leistungsfähigkeit verlustig gegangen sind. Nach E. du Bois-Reymond erfährt der Muskelstrom eine schnelle Abnahme durch gewaltsame Dehnung der Muskeln. Es liess sich erwarten, dass eine lange fortgesetzte derartige Einwirkung die Muskeln in für die Zwecke unserer Versuche erwünschten, d. h. unerregbaren, Zustand versetzen würden. In der That bestätigte sich diese Vermuthung gleich bei meinen ersten dahin gerichteten Versuchen. Ein Zug von 50—70 grmm, zwölf Stunden lang auf unsere Muskelgruppe wirkend, hat dieselbe functionell so weit destruirt, dass der Strom der Batterie wie die Inductionsströme des Magnetelectromotors keine Spur von Zuckung zu erzeugen im Stande sind. Wie schnell und in wie hohem Grade unter dem Einflusse des constanten Stromes die Leistungsfähigkeit sich wieder herstellt, werden die folgenden Tabellen lehren.

Tab. V.

Präparat, 12 Stunden lang durch 50 Grm. gedehnt. Als 65 Minuten nach der Entlastung die Beobachtungen begannen, war es für die Batterieströme wie für die des Magnetelectromotors völlig unerregbar.

No.	A	B	a	b	No.	A	B	a	b
A. Constanter Strom absteigend.									
	Sec.	Sec.	Mm.			Sec.	Sec.	Mm.	Mm.
1.	10	—	merkl., nicht messbar.		11.	60	—	0,8	—
2.	—	30	—	0	12.	—	30	—	0,05
3.	20	—	0,1	—	13.	70	—	0,9	—
4.	—	30	—	0	14.	—	30	—	0,05
5.	30	—	0,3	—	15.	80	—	1,0	—
6.	—	30	—	0	16.	—	30	—	0,05
7.	40	—	0,4	—	17.	90	—	1,35	—
8.	—	30	—	0	18.	—	30	—	0,05
9.	50	—	0,6	—	19.	100	—	1,3	—
10.	—	30	—	?	20.	—	30	—	0,05
B. Nach 1 Minute Pause. Constanter Strom aufsteigend.									
21.	10	—	0	—	31.	60	—	0,1	—
22.	—	30	—	0	32.	—	30	—	0
23.	20	—	0	—	33.	70	—	0,15	—
24.	—	30	—	0	34.	—	30	—	0
25.	30	—	merklich.	—	35.	80	—	0,1 (?)	—
26.	—	30	—	0	36.	—	30	—	0
27.	40	—	0,05	—	37.	90	—	0,3	—
28.	—	30	—	0	38.	—	30	—	0
29.	50	—	0,1	—	39.	100	—	0,3	—
30.	—	30	—	0	40.	—	30	—	0
C. Constanter Strom absteigend. Bei der Schliessung kleine Zuckung; dann wieder Oeffnung des Batteriekreises. Nach 2 Minuten völlige Reactionslosigkeit.									
41.	10	—	0	—	50.	—	30	—	0
42.	—	30	—	0	51.	60	—	0,1	—
43.	20	—	0	—	52.	—	30	—	0
44.	—	30	—	0	53.	70	—	0	—
45.	30	—	merklich.	—	54.	—	30	—	0
46.	—	30	—	0	55.	80	—	0	—
47.	40	—	0,02	—	56.	—	30	—	0
48.	—	30	—	0	57.	90	—	0	—
49.	50	—	0,05	—					

D. Constanter Strom aufsteigend. Eine Minute Pause.

No.	A	B	a	b	No.	A	B	a	b
	Sec.	Sec.	Mm.			Sec.	Sec,	Mm.	
58.	10	—	0	—	74.	90	—	0,25	—
59.	—	30	—	0	75.	—	30	—	0
60.	20	—	0	—	76.	100	—	0,25	—
61.	—	30	—	0	77.	—	30	—	0
62.	30	—	0	—	78.	110	—	0,3	—
63.	—	30	—	0	79.	—	30	—	0
64.	40	—	0	—	80.	120	—	0,4	—
65.	—	30	—	0	81.	—	30	—	0
66.	50	—	merklich.	—	82.	130	—	0;5	—
67.	—	30	—	0	83.	—	30	—	0
68.	60	—	0,05	—	84.	140	—	0,6	—
69.	—	30	—	0	85.	—	30	—	0
70.	70	—	0,1	—	86.	150	—	0,6	—
71.	—	30	—	0	87.	—	30	—	0
72.	80	—	0,15	—	88.	160	—	0,6	—
73.	—	30	—	0	89.	—	30	—	0

E. Constanter Strom absteigend.

Die Beobachtung wird genau in der bisherigen Weise von 10 Secunden bis 120 Secunden Schliessungszeit fortgesetzt, ohne dass eine Spur von Zuckung erzielt worden wäre.

F. Constanter Strom aufsteigend.

No.	A	B	a	b	No.	A	B	a	b
90.	60	—	0	—	93.	60	—	0,1	—
91.	60	—	0	—	94.	60	—	0,2	—
92.	60	—	deutlich.	—					

G. Constanter Strom absteigend.

Zehn Minuten lang geschlossen, jede Minute geöffnet und schnell wieder geschlossen, keine Spur von Zuckung beobachtet.

H. Constanter Strom aufsteigend.

No.	A	B	a	b	No.	A	B	a	b
95.	60	—	0	—	101.	60	—	0,05	—
96.	60	—	0	—	102.	60	—	0,1	—
97.	60	—	0,05	—	103.	60	—	0,1	—
98.	60	—	0,1	—	104.	60	—	0,2	—
99.	60	—	0,15	—	105.	60	—	0,2	—
100.	60	—	0,1	—	106.	60	—	0,2	—

Tab. VI.

Präparat, 11 Stunden 26 Minuten mit 50 Grm. belastet. 57 Minuten nach der Entlastung beginnt die Beobachtungsreihe; es war keine Spur von Erregbarkeit vorhanden.

A. Constanter Strom absteigend.

No.	A	B	a	b
	Sec.	Sec.	Mm.	Mm.
1.	10	—	0,05	—
2.	—	30	—	0
3.	20	—	0,15	—
4.	—	30	—	0
5.	30	—	0,15	—
6.	—	30	—	merklich.
7.	40	—	0,2	—
8.	—	30	—	merklich.
9.	50	—	0,2	—
10.	—	30	—	merklich.
11.	60	—	0,25	—
12.	—	30	—	0,05
13.	70	—	0,25	—
14.	—	30	—	0,05
15.	80	—	0,25	—
16.	—	30	—	0,06
17.	90	—	0,3	—
18.	—	30	—	0,1
19.	—	40	—	0
20.	100	—	0,15	—
21.	—	30	—	0,5
22.	110	—	0,2	0,2
23.	120	—	0,2	—

Pause von 13 Minuten, in welcher mehrere nicht in die Reihe gehörige Versuche angestellt wurden.

No.	A	B	a	b
	Sec.	Sec.	Mm.	
24.	10	—	0,1	—
25.	—	30	—	0
26.	20	—	0,1	—
27.	—	30	—	0
28.	30	—	0,15	—
29.	—	30	—	0
30.	40	—	0,1	—
31.	—	30	—	0
32.	50	—	0,1	—
33.	—	30	—	0
34.	60	—	0,1	—

Pause von 6 Min., dann

No.	A	B	b	α*)
35.	10	—	—	0,2
36.	—	30	0	—
37.	20	—	—	0,35
38.	—	30	0	—
39.	30	—	—	0,4
40.	—	30	0	—
41.	40	—	—	0,5
42.	—	30	0	—
43.	50	—	—	0,5
44.	—	30	merklich.	—
45.	60	—	—	0,55
46.	—	30	0,05	—

11 Min. Pause, während welcher wenige nicht in die Reihe gehörige Versuche.

*) α in der Bedeutung, wie in den früheren Tabellen, d. h. es wurde die Wippe aus der Lage II. in die Lage I. gebracht, während die Feder des Magnetelectomotors spielte.

B. Constanter Strom aufsteigend.

Bei der Schliessung desselben Zuckung von 0,6 Mm., dann wieder Oeffnung. Nach 5 Min. jede Spur von Reaction verschwunden.

No.	A	B	a	b	No.	A	B	a	b
	Sec.	Sec.	Mm.			Sec.	Sec.	Mm.	Mm.
47.	10	—	0	—	61.	—	30	—	merklich.
48.	—	30	—	0	62.	80	—	0,4	—
49.	20	—	?	—	63.	—	30	—	merklich.
50.	—	30	—	0	64.	90	—	0,6	—
51.	30	—	?	—	65.	—	30	—	sehr deutlich
52.	—	30	—	0	66.	100	—	0,75	—
53.	40	—	deutlich.	—	67.	—	30	—	0,05
54.	—	30	—	0	68.	110	—	0,9	—
55.	50	—	0,05	—	69.	—	60	—	0
56.	—	30	—	0	70.	120	—	1,0	—
57.	60	—	0,12	—	71.	—	60	—	merklich.
58.	—	30	—	0	72.	130	—	1,35	—
59.	—	70	—	0	73.	—	60	—	merklich.
60.	70	—	0,1	—	9 Minuten Pause.				

C. Strom der Batterie absteigend.

Die Untersuchung wird ganz in der vorangehenden Weise von 10 Sec. Schliessungszeit bis 180 Sec. fortgesetzt, ohne dass sich eine Zuckung erzielen liess.

D. Constanter Strom aufsteigend.

No.	A	B	a	b	No.	A	B	a	b
74.	10	—	0	—	86.	70	—	0,12	—
75.	—	30	—	0	87.	—	30	—	0
76.	20	—	0	—	88.	80	—	0,21	—
77.	—	30	—	0	89.	—	30	—	0
78.	30	—	0	—	90.	90	—	0,3	—
79.	—	30	—	0	91.	—	30	—	0
80.	40	—	0	—	92.	100	—	0,4	—
81.	—	30	—	0	93.	—	30	—	0
82.	50	—	deutlich.	—	94.	110	—	0,5	—
83.	—	30	—	0	95.	—	30	—	0
84.	60	—	0,12	—	96.	120	—	0,6	—
85.	—	30	—	0	97.	—	30	—	0

Pause von 6 Minuten.

No.	A	B	a	b	No.	A	B	a	b

E. Batteriestrom absteigend.

Nachdem von 10 Sec. bis 90 Sec. Schliessungszeit in der bisherigen Weise erfolglos auf Contraction untersucht war, wird die Batterie 270 Sec. lang hintereinander geschlossen mit momentaner Oeffnung in je 30 Sec. Zwischenraum, ohne dass Zuckung erfolgt wäre.

F. Batteriestrom aufsteigend.

No.	A	B	a	b	No.	A	B	a	b
	Sec.	Sec.	Mm.			Sec.	Sec.	Mm.	
98.	10	—	0	—	113.	—	30	—	0
99.	—	30	—	0	114.	90	—	0,2	—
100.	20	—	0	—	115.	—	30	—	0
101.	—	30	—	0	116.	100	—	0,2	—
102.	30	—	0	—	117.	—	30	—	0
103.	—	30	—	0	118.	110	—	0,25	—
104.	40	—	0	—	119.	—	30	—	0
105.	—	30	—	0	120.	120	—	0,3	—
106.	50	—	deutlich.	—	121.	—	30	—	0
107.	—	30	—	0	122.	130	—	0,45	—
108.	60	—	0,05	—	123.	—	30	—	0
109.	—	30	—	0	124.	140	—	0,55	—
110.	70	—	0,05	—	125.	—	30	—	0
111.	—	30	—	0	126.	150	—	0,6	—
112.	80	—	0,11	—	Pause 5 Minuten.				

G. Batteriestrom absteigend.

17 Minuten lang geschlossen, jede Minute durch momentane Oeffnung auf Reaction untersucht, doch stets vergeblich.

H. Batteriestrom aufsteigend.

No.	A	B	a	b	No.	A	B	a	b
127.	60	—	0	—	134.	60	—	0,15	—
128.	60	—	0	—	135.	60	—	0,15	—
129.	60	—	?	—	136.	60	—	0,15	—
130.	60	—	?	—	137.	60	—	0,15	—
131.	60	—	deutlich.	—	138.	60	—	0,15	—
132.	60	—	0,05	—	139.	60	—	0,2	—
133.	60	—	0,05	—	140.	60	—	0,2	—

Die beiden soeben mitgetheilten Beobachtungsreihen bestätigen das zunächst schon voraus verkündigte Resultat, dass auch durch mechanische Misshandlung ihrer Erregbarkeit beraubte Muskeln durch den constanten Strom ihre Leistungsfähigkeit wieder gewinnen. Wir sehen, die Tabellen im Allgemeinen betrachtend, mit derselben Regelmässigkeit, wie früherhin, die Fähigkeit, durch die Oeffnung der Batterie und durch Inductionsschläge [1]) in Zuckung versetzt zu werden, an den Muskeln entstehen, wenn sie vom constanten Strome durchflossen worden waren, und verschwinden, wenn sie eine gewisse Zeit lang ausserhalb des Stromeskreises sich befunden hatten. Genauere Zergliederung beider Tabellen lehrt uns eine Reihe interessanter Thatsachen kennen und giebt uns Winke, die zur Anstellung neuer Versuche auffordern.

1.

Zunächst springt in die Augen, dass die Grösse der Zuckung bis zu einem gewissen Grade wächst mit der Zeit, während welcher der constante Strom durch den Muskel gegangen ist. In Tab. V. haben wir einen unerregbaren Muskel vor uns, der schon nach 10 Secunden langer Einwirkung des Stromes auf die mit der Oeffnung des Kreises verbundene Dichtigkeitsschwankung (vom Maximum der Dichte bis Null) durch eine merkliche, wenn auch ihrer Kleinheit wegen noch nicht messbare, Zuckung reagirt. Nachdem während einer Pause von 30 Secunden die Erregbarkeit so weit gesunken war, dass Schliessung und Oeffnung der Batterie

---

1) Für die Wirksamkeit dieser letztern dient vorläufig als Beleg nur der letzte Theil des Abschnittes A in Tab. IV., in welchem die Zahlen der Columne α weit grösser sind, als die entsprechenden der Columne a in den sonstigen Abschnitten beider Tabellen, ein Resultat, dessen Deutung schon oben bei Besprechung von No. 11—57. der Tabelle II. gegeben ist. Wir kommen bald noch näher hierauf zurück.

ohne Erfolg blieb, steigerte sie sich nach 20 Secunden langer Durchströmung des Muskels so weit, dass eine Oeffnungszuckung von 0,1 mm. eintrat. Im Verfolg der Tabelle sehen wir die Zahlen der Columne a mit denen der Columne A wachsen (bis zu No. 17.), und dasselbe stellt sich mit wenigen Ausnahmen, die nicht zahlreich genug sind, um die Regel zu verdecken, bei allen analogen Reihen heraus. Oft sind die kürzeren Schliessungszeiten ohne sichtlichen Erfolg, der erst bei längerer Schliessung eintritt. So z. B. in Tab. V., B, wo 10 und 20 Secunden lange Schliessung keine Zuckung bei der Oeffnung nach sich zieht; erst bei No. 25. (30 Sec. Schliessung) wird Zuckung bemerkt und erst bei No. 27. (40 Sec. Schliessung) wird sie messbar, um von da ab mit steigender Schliessungszeit immer grössere Maasse zu erreichen. — Auffallende und näherer Untersuchung werthe Ausnahmen treten ein; a) In Tab. V., (No. 53.), wo der absteigende Strom plötzlich seine Wirkung ganz versagt, um sie nie wieder eintreten zu lassen; wir werden dies bald näher in Betracht ziehen. b) In Tab. VI., A, No. 20., wo bei 100 Sec. langer Schliessung die Grösse der Zuckung nur 0,15 mm. beträgt, während sie vorher in No. 17. bei 90 Sec. langer Schliessung 0,3 mm. betrug. Der Grund dieser Differenz, die zu bedeutend ist, um aus einem Beobachtungsfehler oder aus einem zufälligen Momente beim Experimentiren herzurühren, liegt darin, dass zwischen den beiden Schliessungen in No. 17. und No. 20. eine längere Zeit, als sonst, verstrichen ist, nämlich 70 Secunden, während die sonstige Pause zwischen je zwei Schliessungen nur 30 Sec. betrug. Wir finden in dieser Beobachtung eine Aufforderung, durch Experimente den Einfluss der Pausenlänge zwischen je zwei Schliessungen zu controlliren.

2.

Indem wir die Columne b durchsehen, welche die Angabe liefert, ob nach längerem Offensein der Batterie Schliessung und schnelle Wiederöffnung derselben von Erfolg begleitet und wie gross dieser etwaige Erfolg sei, fällt uns Folgendes auf: So lange die Zahlen der Columne A unter einer gewissen, in den verschiednen Reihen wechselnden, Grösse bleiben, d. h. also, so lange die Schliessungszeiten eine gewisse Dauer nicht überschreiten, ist nach 30 Sec. langer Pause keine Erregbarkeit mehr vorhanden, denn die Schliessung und schnelle Wiederöffnung der Batterie zeigt in der Columne b als Erfolg eine Null. Dies währt z. B. in Tab. V., A, bis zur Beobachtung No. 10. Bei No. 12. dagegen ist in der Columne b 0,05 mm. verzeichnet, d. h. nachdem bei No. 11. die Batterie 60 Sec. lang geschlossen, dann, wie gewöhnlich, 30 Sec. lang geöffnet gewesen war, brachte die erwähnte Operation eine Zuckung von 0,05 mm. hervor. Dieser Erfolg kehrt in dem letzten Theile von Tab. V., A immer wieder, in den übrigen Reihen dieser Tabelle nicht. Dagegen sehen wir ihn in Tab. VI., A und B in No. 6., 8., 10. etc. bis 22. und No. 61., 63. etc. bis 73. von Neuem. Ja, in der Reihe A wachsen sogar die Zahlen der Columne b mit denen der Columne A. Was hat nun diese Erscheinung zu bedeuten? Zunächst beweist sie nur, dass, als nach 30 Sec. Pause in den angeführten Beobachtungen die Batterie geschlossen und schnell wieder geöffnet wurde, Erregbarkeit vorhanden war. Woher stammt aber diese? Sie hängt offenbar von der längeren Dauer der Schliessung ab, welche den Pausen, nach denen die citirten Beobachtungen angestellt wurden, vorangingen. Man kann sich dabei ein Doppeltes denken. Entweder nämlich überdauert die Erregbarkeit selbst, welche durch die Schliessungen hergestellt wurde, die Zeit

von 30 Sec., oder zweitens, es bleibt nach jenen längeren Schliessungen in dem Muskel eine gewisse Zeit lang ein Zustand zurück, welcher es möglich macht, dass eine nur momentane Schliessung der Batterie, wie sie ja stattfindet, wenn nach den 30 Ruhesecunden die Wippe in die Lage II und schnell wieder in die Lage I gebracht wird, dass, sage ich, eine nur so kurze Schliessung der Batterie die schon geschwundene Erregbarkeit wieder in geringem Grade zu restituiren im Stande ist. Aus dieser Alternative resultirt wiederum eine Aufforderung zu neuen Versuchen.

Wenn übrigens nur in der Reihe A der Tab. V. und nur in den Reihen A und B der Tab. VI. die Columne b positive Erfolge zeigt, die späteren Reihen nicht mehr, so liegt der Grund offenbar nur in der materiellen Zerstörung des Muskels durch Electrolyse, welche eine Verringerung der Wirkungen unter übrigens gleichen Bedingungen unweigerlich herbeiführen muss. Diese Verringerung zeigt sich unter Anderm auch klar, wenn man z. B. Tab. V. D und H vergleicht. Dort haben wir in No. 84. bei 140″ Schliessung (nach vorangegangener Pause von 30 Sec.) eine Oeffnungscontraction von 0,6 mm., während hier nach 720 Sec. langer Schliessung, die nur in Zwischenräumen von je 60 Sec. durch momentane Oeffnung unterbrochen wurde, keine grössere Oeffnungscontraction als 0,2 mm. erzwungen werden konnte. Noch schlagender tritt die Wirkung der Electrolyse bei Vergleichung der einander entsprechenden Zahlen der Columne a in Tab. VI. B, D, F hervor. In No. 70., 96., 120. z. B. ist die Schliessungszeit 120 Sec. Unter übrigens gleichen Bedingungen des Experimentes verringern sich die Oeffnungscontractionen von 1,0 mm. auf 0,6 mm. und 0,3 mm.

3.

Was wir fernerhin in Betracht ziehen müssen, ist der augenfällige Unterschied, den die beiden Stromesrichtungen, die absteigende und die aufsteigende, in ihren Wirkungen darbieten. Als allgemeines Resultat ist aufzustellen, dass der absteigende Strom schwächer wirkt und früher aufhört, wirksam zu sein, als der aufsteigende Strom. Tab. VI. beginnt mit absteigendem Strome. Die grösste in der Reihe A erreichte Oeffnungscontration beträgt 0,3 mm. Sie trat nach 90 Sec. langer Schliessung ein. In der Reihe B, welche bei aufsteigendem Strome gewonnen ist, haben wir nach gleich langer Schliessung (No. 64.) eine Zuckung von doppelter Grösse, 0,6 mm. c, e, g derselben Tabelle lehren, dass der absteigende Strom bereits nicht mehr wirkt. Läge diese Tabelle allein vor, so könnte der Verdacht entstehen, dass die absteigende Stromesrichtung die Erregbarkeit dann nicht mehr hervorzurufen vermag, wenn die andre vorangegangen ist. Doch widerlegt sich diese Hypothese durch andre mir zu Gebote stehende Versuchsreihen, von denen Tab. V. ein Beispiel ist. In A und C ist hier der Strom absteigend, in B aufsteigend gerichtet. Wir sehen hier in der Reihe C durch den absteigenden Strom noch eine Zeit lang Erfolge erzielt, bis er plötzlich ganz versagt, um fortan wirkungslos zu bleiben. Diese räthselhafte Erscheinung macht anderweitige Versuche über die beiden Stromesrichtungen wünschenswerth, welche später folgen werden.

4.

Nachdem in beiden Tabellen die Stromesrichtung gewechselt ist, finden wir öfters bemerkt, dass nach der ersten Schliessung des Stromes in der neuen Richtung Zuckung erfolgt, die nach einiger Ruhezeit bei erneuter Schliessung nicht

mehr eintritt. Damit ist ein neues sehr wichtiges Moment für unsere Untersuchung gegeben. Es geht schon aus den vereinzelten Angaben der beiden Tabellen mit Wahrscheinlichkeit hervor, dass längere Einwirkung eines Stromes auf einen unerregbaren Muskel in diesem einen Zustand hervorruft, der nicht bloss bei Oeffnung der Batterie Zuckung eintreten lässt, — der bisher gewöhnlich beobachtete Fall, — sondern auch bei Eintritt eines entgegengesetzt gerichteten Stromes. Die Andeutungen, welche in dieser Beziehung aus den vorliegenden beiden Tabellen sich ergeben, führen wiederum auf eine neue Reihe von Experimenten, um den fraglichen Punkt näher zu erörtern.

5.

Wie ich schon flüchtig oben darauf aufmerksam gemacht habe, geht aus dem letzten Theile der Reihe A in Tab. VI. hervor, dass der constante Strom den Muskel auch für die Schläge des Magnetelectromotors wieder erregbar macht. Ich wünschte den regelmässigen Gang der Untersuchung in Tab. V. und VI. nicht durch weitere Experimente mit Inductionsströmen zu unterbrechen und stellte deshalb bezüglich der Wirkung dieser auf Muskeln, welche durch mechanische Misshandlung ihrer Leistungsfähigkeit beraubt sind, besondre Versuchsreihen an, die ich als zugehörig zu den letzten Tabellen mittheile.

Tab. VII.

Präparat 12 Stunden lang mit 50 Grmm. belastet. 45 Minuten nach der Entlastung völlig unerregbar.

Constanter Strom aufsteigend.

No.	A	B	a	b	β	α	No.	A	B	a	b	β	α
	Sec.	Sec.	Mm.			Mm.		Sec.	Sec.	Mm.			Mm.
1.	10	—	0,2	—	—		30.	—	20	—	0	—	
2.	—	20	—	0	—		31.	10	—	—	—	—	0,15
3.	10	—	—	—	—	0,4	32	—	20	—	0	—	
4.	—	20	—	0	—		33.	10	—	0,05	—	—	
5.	10	—	0,2	—	—		34.	—	20	—	0	—	
6.	—	20	—	0	—		35.	10	—	—	—	—	0,15
7.	10	—	—	—	—	0,4	Acht Minuten Pause.						
8.	—	20	—	0	—		36.	10	—	0	—	—	
9.	10	—	0,2	—	—		37.	—	20	—	—	—	0
10.	—	20	—	0	—		38.	15	—	0	—	—	
11.	10	—	—	—	—	0,3	39.	—	20	—	—	—	0
12.	—	20	—	0	—		40.	20	—	kaum messbar	—	—	
13.	10	—	0,1	—	—		41.	—	20	—	—	—	0
14.	—	20	—	0	—		42.	30	—	0,05	—	—	
15.	10	—	—	—	—	0,25	43.	—	20	—	0	—	
16.	—	20	—	0	—		44.	30	—	—	—	—	0,05
17.	10	—	0,5	—	—		45.	—	20	—	0	—	
18.	—	20	—	0	—		46.	30	—	0,05	—	—	
19.	10	—	—	—	—	0,2	47.	—	20	—	0	—	
20.	—	20	—	0	—		48.	30	—	—	—	—	0,1
21.	10	—	0,05	—	—		49.	—	20	—	0	—	
22.	—	20	—	0	—		50.	30	—	kaum merkl.	—	—	
23.	10	—	—	—	—	0,2	51.	—	20	—	0	—	
24.	—	20	—	0	—		52.	30	—	—	—	—	0,1
25.	10	—	kaum merkl.	—	—		53.	—	20	—	0	—	
26.	—	20	—	0	—		54.	30	—	kaum merkl.	—	—	
27.	10	—	—	—	—	0,2	55.	—	20	—	0	—	
28.	—	20	—	0	—		56.	30	—	—	—	—	0,15
29.	10	—	0,05	—	—								

Die Resultate dieser Beobachtungsreihe sind ganz von demselben Gesichtspuncte aus zu beurtheilen, wie No. 11. bis 57. in Tab. II., wo die nähere Erläuterung gegeben ist, und ich habe vorstehende Tabelle nur mitgetheilt, um zu zeigen, dass die Wirkung der Inductionsströme auf das dortige, durch Electricität seiner Erregbarkeit beraubte Präparat, sich bei den hier angewandten Präparaten in derselben Weise wiederholt. Noch weitere Belege für die Wirkung der Inductionsströme werden wir bei Gelegenheit späterer Untersuchungen finden, welche das Verhalten der Muskeln in der auf längeres Geschlossensein der Batterie folgenden Ruhepause erörtern.

Wie wirken nun aber die Inductionsschläge? Diese Frage scheint sonderbar, und ist gleichwohl einerseits berechtigt, andrerseits schwer zu beantworten. Die Contractionen, welche wir eintreten sehen, wenn nach Oeffnung der Batterie sofort die Ströme der secundären Rolle des Magnetelectromotors durch den Muskel geleitet werden, sind zwar stets grösser, als blosse Oeffnungszuckungen, doch ebenso flüchtig, wie diese. Wir sehen keinen dauernden Tetanus eintreten, der doch sonst an gewöhnlichen, noch frischen Muskeln die Folge wechselseitig gerichteter Inductionsströme ist; wir sehen vielmehr nur eine schnelle Contraction, kaum unterschieden in ihrer Erscheinung von Zuckungen, welche durch einen einmaligen electrischen Reiz hervorgerufen werden. Möglich, dass sich in unserm Falle die Erregbarkeit sehr schnell erschöpft. Doch ehe wir uns definitiv zu dieser Annahme entschliessen, überlegen wir einen Augenblick näher die Einwirkung, welche der Muskel in Folge der Schwingungen der Feder des Magnetelectromotors erfährt. Sobald die Feder bei ihrer Schwingung nach unten hin die sie berührende Spitze der Schraube am Instrumente, dessen Bekanntschaft ich voraussetzen darf, verlässt, sobald also die primäre Kette

geöffnet wird, entsteht in der secundären Rolle ein Inductionsstrom, dessen Dichtigkeitscurve, auf die Zeit bezogen, im Allgemeinen ungefähr die Gestalt eines spitzen Kammzahnes hat, d. h. die Dichtigkeit desselben steigt sehr schnell von Null bis zum Maximum, auf dem sie sehr kurze Zeit verweilt, um schnell wieder auf Null herabzusinken. Sobald die Feder auf ihrem Rückwege nach oben die Spitze berührt, wodurch die primäre Kette geschlossen wird, gleicht sich in dem secundären Kreise dieselbe Electricitätsmenge, wie bei dem Oeffnungsinductionsstrome, aber in entgegengesetzter Richtung und in längerer Zeit, ab. Liegt die zahnförmige Curve des Oeffnungsinductionsstromes oberhalb der Abscisse, so wird die des Schliessungsinductionsstromes unterhalb derselben gelegen sein. Der von beiden Curven eingeschlossene Flächenraum, d. h. die in beiden Strömen abgeglichene Electricitätsmenge, wird gleich sein, die Abscisse des Schliessungsinductionsstromes aber grösser, als die des Oeffnungsinductionsstomes, die grösste Ordinate der Curve des ersteren kleiner, als die der Curve des zweiten. Die Steilheit der Curve des Oeffnungsstromes ist grösser, als die der Curve des Schliessungsstromes. Da die electrische Erregung nach du Bois-Reymonds „allgemeinem Gesetze der Erregung durch den Strom“ abhängt von der Dichtigkeitsschwankung, so wird für den im Kreise der secundären Rolle befindlichen Muskel durch einen Hin- und Rückschwung der Feder eine vierfache Anregung zur Bewegung gegeben sein, und zwar durch den auf- und den absteigenden Theil der Curve des Oeffnungsinductionsstromes eine grössere, als durch die entsprechenden Theile der Curve des Schliessungsstromes. Doch diese Verhältnisse liegen uns weniger am Herzen, als die folgenden. Einer von den beiden Inductionsströmen, nehmen wir an, es sei der Oeffnungsstrom, ist gleich gerichtet dem constanten Strome der Batterie, der andre hat die

entgegengesetzte Richtung. Der aufsteigende Theil der Curve des Oeffnungsstromes entspricht dann der Schliessung der Batterie, denn es steigt in beiden Fällen die Dichte gleichgerichteter Ströme von Null bis zum (freilich beidemale sehr ungleichen) Maximum; der absteigende Theil der Curve dagegen entspricht der Oeffnung der Batterie, denn die Dichte sinkt vom Maximum auf Null. Der ansteigende Theil der Curve des Schliessungsstromes dagegen entspräche der Schliessung des Batteriestromes, nachdem dessen Richtung gewechselt worden, der absteigende Curvenarm des Schliessungsstromes der Oeffnung des Batteriestromes in seiner neuen Richtung. Welcher von diesen 4 Theilen der Curve, die die Stromverhältnisse während einer Schwingung der Feder ausdrückt, wirkt nun in unserm Falle, wo die Erregbarkeit des Muskels durch einen constanten, dem Oeffnungsinductionsstrome gleichgerichteten, Batteriestrom hergestellt ist, welcher Curventheil wirkt hier als erregend auf den Muskel? Nach den bisherigen Erfahrungen, welche nur lehren, dass die Schliessung des constanten Stromes, der die Leistungsfähigkeit restituirt hat, erfolglos, dagegen die Oeffnung desselben und wahrscheinlich die Schliessung des entgegengesetzt gerichteten Stromes wirksam ist, nach diesen Erfahrungen lässt sich vermuthen, dass nicht alle 4 Theile der Curve wirksam sein werden. Dies durch die Inductionsströme direct zu entscheiden, ist natürlich unmöglich, selbst dann, wenn durch eine besondere Vorrichtung die Ströme der einen Richtung abgeblendet werden (was man bei einer Saxton'schen Maschine erreichen kann). Eine sichere Beurtheilung der aufgeworfenen Frage wird überhaupt unerreichbar sein. Doch werden wir wenigstens Vermuthungen aussprechen dürfen, wenn wir die Wirkung der verschiednen Stromesrichtungen durch Versuche näher kennen gelernt haben. So finden wir auch hier eine Aufforderung zu Experimenten über eine

Frage, die uns schon nach dem in No. 4. Bemerkten genauerer Erörterung werth scheinen musste.

Die Analyse der Tab. V., VI., VII. hat uns reiches Material zur Aufstellung von Fragen gegeben, welche wir durch Versuche beantwortet zu sehen hoffen dürfen. Wir gehen jetzt an die experimentelle Prüfung derselben.

VI.

Zwei Erfahrungen, erstens die oben unter V., 1, sub A. besprochene, dass die regelmässige Zunahme, welche die Grössen der Oeffnungscontractionen mit der wachsenden Schliessungsdauer des constanten Stromes erfahren, plötzlich unterbrochen wird, nachdem zwischen zwei aufeinander folgenden Schliessungen eine längere Pause, als zwischen den früheren Schliessungen, gelegen war; zweitens der ebendaselbst sub B. erwähnte Umstand, dass nach vorangegangenen längeren Schliessungen der constanten Batterie 30 Sec. nach ihrer Oeffnung durch momentane Schliessung und schnelle Wiederöffnung derselben Zuckungen erhalten werden konnten, die nicht eintraten, wenn die voraufgegangenen Schliessungen nur kürzere Zeit gedauert hatte, — diese zwei Erfahrungen fordern uns auf, eine experimentelle Prüfung darüber anzustellen, wie sich der Muskel in der auf längere Schliessung folgenden Ruhezeit gegen die Einwirkung von Strömen verhalte. Folgende Tabellen liefern das Material zur Beantwortung dieser Frage.

Tab. VIII.

Präparat 12 Stunden lang mit 50 Grmm. belastet. 45 Minuten nach der Entlastung völlig unerregbar.

Constanter Strom aufsteigend.

Es ging eine kurze Reihe Versuche vorher, welche den in Tab. V. u. VI. angestellten gleich waren. Nach deren Beendigung folgende Reihe:

No.	A	B	a	b	β	α
	Sec.	Sec.	Mm.	Mm.		
1.	60	—	1,4	—		
2.	—	10	—	0,4		
3.	—	10	—	0,4		
4.	—	10	—	0,4		
5.	—	10	—	0,2		
6.	—	10	—	0,2		
7.	—	10	—	0,2		
8.	—	10	—	0,15		
9.	—	10	—	0,1		
10.	—	10	—	0,05		

Pause von 2 Minuten, völlige Reactionslosigkeit.

No.	A	B	a	b	β	α
11.	120	—	1,4	—		
12.	—	10	—	0,6		
13.	—	10	—	0,4		
14.	—	10	—	0,4		
15.	—	10	—	0,3		
16.	—	10	—	0,2		
17.	—	10	—	0,15		
18.	—	10	—	0,1		
19.	—	10	—	0,1		
20.	—	10	—	kaum merkl.		

An einem andern Präparate waren folgende Zahlen gewonnen.

No.	A	B	a	b	β	α
	Sec.	Sec.	Mm.	Mm.		
21.	240	—	1,0	—		
22.	—	10	—	0,8		
23.	—	10	—	0,5		
24.	—	10	—	0,4		
25.	—	10	—	0,35		
26.	—	10	—	0,2		
27.	—	10	—	0,15		
28.	—	10	—	0,1		
29.	—	10	—	0,05		
30.	—	10	—	0,05		
31.	—	10	—	kaum merkl.		

5 Min. Pause, völlige Reactionslosigkeit.

No.	A	B	a	b	β	α
32.	300	—	0,45	—		
33.	—	10	—	0,1		
34.	—	10	—	0,05		
35.	—	10	—	0,05		
36.	—	10	—	0,05		
37.	—	10	—	noch merkl.		
38.	—	10	—	„		
39.	—	10	—	„		

Tab. IX.

Präparat 12 Stunden lang mit 60 Grmm. belastet. 45 Minuten nach der Entlastung völlig reactionslos.

Constanter Strom absteigend.

No.	A	B	a	b	β	α	No.	A	B	a	b	β	α
	Sec.	Sec.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.		Sec.	Sec.	Mm.	Mm.		Mm.
1.	10	—	0,15	—			24.	—	120	—	—	—	0,1
2.	—	30	—	0			25.	—	90	—	—	—	0,05
3.	20	—	0,85	—			26.	—	300	—	—	—	0
4.	—	30	—	0			27.	60	—	1,4	—	—	—
5.	30	—	1,4	—			28.	—	10	—	0,05	—	—
6.	—	30	—	merkl.			29.	—	10	—	kaum merkl.	—	—
7.	40	—	1,95	—			30.	—	10	—	0	0	0,4
8.	—	30	—	merkl.			31.	—	10	—	0	0	0,4
9.	50	—	2,85	—			32.	—	10	—	0	0	0,4
10.	—	30	—	0,1			33.	—	10	—	0	0	0,2
11.	—	0	—	—	—	0,8	34.	—	10	—	0	0	0,2
12.	—	0	—	0,1	—	—	35.	—	10	—	0	0	0,2
13.	—	0	—	—	—	0,8	36.	—	10	—	0	0	0,2
14.	—	30	—	0	—	—	37.	—	10	—	0	0	0,2
15.	—	0	—	0	0	0,4	38.	—	10	—	0	0	0,15
16.	—	0	—	0	0	0,6	39.	—	10	—	0	0	0,15
17.	—	0	—	0	0	0,4	40.	—	10	—	0	0	0,13
18.	—	0	—	0	0	0,4	41.	—	10	—	0	0	0,1
19.	—	0	—	0	0	0,4	42.	—	10	—	0	0	0,1
20.	—	0	—	0	0	0,4	43.	—	10	—	0	0	0,1
21.	—	120	—	0	0	0,2	44.	—	10	—	0	0	0,05
22.	—	60	—	0	0	0,2	45.	—	10		0	0	Spur.
23.	Die Wippe wechselt mit grösstmöglicher Geschwindigkeit die Lage II. und I., während die Feder des Magnetelectromotors spielt. Dadurch wird stetige, tonische Contraction von 0,2 Mm. erzielt.												

Die Tab. VIII. lehrt auf den ersten Anblick folgendes: Wenn der constante Strom längere Zeit durch den Muskel gegangen ist, so erhält man zuerst bei seiner Unterbrechung eine starke Oeffnungszuckung. Wird nun in regelmässigen Intervallen der Strom momentan geschlossen und schnell, so schnell als die Handbewegung es erlaubt, wieder geöffnet, so erhält man eine gewisse Zeit lang Oeffnungszuckungen (nie habe ich Schliessungszucken beobachtet), die immer kleiner und kleiner werden, bis sie zuletzt ganz verschwinden. Ehe wir diese Erscheinungen zu deuten suchen, betrachten wir noch Tab. IX. Als nach 50 Sec. langer Schliessung eine sehr starke Oeffnungszuckung eingetreten war, wurde nach 30 Sec. langer Pause geschlossen und rasch wieder geöffnet, die Zuckung betrug noch 0,1 mm. Unmittelbar darauf [1]) wurde die Batterie einen Moment geschlossen und durch schnelles Umlegen der Wippe nach Oeffnung der Batterie der Kreis der Inductionsvorrichtung, deren Feder spielte, geschlossen: wir erhalten die beträchtliche Zuckung von 0,8 mm u. s. f. bis No. 15. Von dieser Beobachtung ab bis No. 22. wurde folgendermassen verfahren: In No. 15. nach 30 Sec. langer Pause wurde die Wippe zuerst in die Näpfchen b und b′ getaucht und schnell wieder herausgehoben, doch nicht so weit umgekippt, dass ihre beiden andern Enden in die Näpfchen aa′ tauchten, es wurde also nur der Batteriekreis nach sehr kurzer Schliessung geöffnet, aber noch nicht der Inductionskreis geschlossen. Der Effect dieser Operation ist gewohnter Weise in der Columne (b) verzeichnet: wir sehen bei jeder Beobachtung eine Null. Erst nach-

---

1) Die Null in Columne B bedeutet, dass die Beobachtung No. 11. unmittelbar auf No. 10. folgte, dass also zwischen beiden nur die zur Ausführung der mechanischen Manipulation nöthige Zeit verflossen war. Ebenso überall, wo in der Col. B eine Null verzeichnet ist.

dem ich mich von diesem negativen Erfolge sicher überzeugt hatte, worüber natürlich eine kurze Zeit vergeht, wurde der Inductionskreis durch Vollendung der begonnenen Ueberführung der Wippe aus der Lage II in die Lage I geschlossen. Die Wirkung der Inductionsschläge, wenn ihnen nicht unmittelbar die Oeffnung des Batteriekreises voranging[1]), sollte unsern früher getroffenen Bestimmungen gemäss in die Columne β verzeichnet werden: auch diese giebt nur Null an. Dagegen ist die Columne α ausgefüllt, d. h. wenn nach den beiden so eben besprochenen Beobachtungen die Wippe in die Lage II und ohne Verzug darauf in die Lage I gebracht wurde, so erhalten wir Contraction. Ja, Nr. 23. giebt an, dass bei häufiger, möglichst schnell auf einander folgender Wiederholung dieser Operation tonische Contraction des Muskels eintrat. Ich habe auf diese Weise sehr oft Tetanus herbeigeführt und nicht selten von beträchtlicherer Grösse. Es ist ein höchst merkwürdiger Anblick, denselben sofort nachlassen zu sehen, wenn man die Wippe ihre Bewegung zwischen beiden Lagen aufgeben und in der einen oder der andern ruhen lässt. Liegt sie unbewegt in der Lage I, so lässt der tonische Krampf des Muskels sofort nach, obgleich er von den stärksten Inductionsschlägen getroffen wird. Setzt man sie von Neuem zwischen beiden Lagen in Bewegung, so erscheint auch der Tetanus wieder. No. 24. bis 45. der Tab. IX. lehrt dasselbe, wie der erste Theil der Beobachtungen. Auch hier lässt sich in der auf 60 Sec. lange Schliessung folgenden Zeit anfangs durch blosse Oeffnung des Batteriekreises, später nur durch unmittelbar auf die Oeffnung

---

1) was hier nicht der Fall ist. Denn zwischen der Oeffnung der Batterie und der Schliessung des Inductionskreises lag die Zeit, welche nöthig war, um festzustellen, dass die blosse Oeffnung nicht von Zuckung begleitet wurde.

folgende Schliessung des Inductionskreises Contraction herbeiführen, wie No. 30. bis 45. zeigt.

Wie sollen wir nun diese Resultate beurtheilen? Ich stellte schon oben eine Alternative auf, über welche wir jetzt die Entscheidung abzugeben haben. Wir hatten nach den dortigen Beobachtungen zwischen folgenden beiden Annahmen die Wahl: Entweder besteht, wenn nach längerer Schliessung des Batteriekreises der Muskel ruht, in ihm die neu hervorgerufene Erregbarkeit selbst eine Zeit lang fort, oder es besteht ein Zustand fort, welcher es möglich macht, durch momentane, nur einen Bruchtheil einer Secunde währende Schliessung der Batterie die schon verschwundene Erregbarkeit zu restituiren. Nach den Beobachtungen der beiden letzten Tabellen glaube ich mich an die zweite Hypothese als die wahrscheinlichere halten zu müssen. Denn wenn die Erregbarkeit selbst fortbestände, so wäre nicht abzusehen, weshalb die Inductionsschläge für sich wirkungslos bleiben und nur dann Zuckung zur Folge haben sollten, wenn ihnen eine kurze Schliessung der Batterie unmittelbar voraufgeht. Unter der Annahme dagegen, dass nach dem Aufhören des constanten Stromes die Erregbarkeit selbst bald schwindet, dass aber, wenn derselbe längere Zeit eingewirkt hat, eine gewisse Disposition im Muskel zurückbleibt, unter dem Einflusse einer auch nur sehr kurzen Schliessung weiter in den Zustand überzugehen, welcher Zuckung möglich macht, unter dieser Annahme erklären sich alle hier beobachteten Thatsachen, wie es mir scheint, ganz gut. Es leuchtet dann namentlich ein, dass die Inductionsschläge nur wirksam sein können, wenn unmittelbar vor ihnen der Batteriestrom durch den Muskel ging. Letzterer hat nämlich den erregbaren Zustand restituirt, der aber bald nach Oeffnung der Batterie wieder schwindet, so dass dann, wenn nach Oeffnung der Batterie einige Zeit verflossen ist, die Inductionsschläge

nur ein nicht mehr erregbares Objekt finden, während sie den Muskel noch erregbar treffen, wenn sie unmittelbar auf den constanten Strom folgen. Wir lernen ferner unter jener Annahme die Beobachtung No. 23. in Tab. IX. verstehen. Dort trat Tetanus ein, wenn, während die Feder des Magnetelectromotors spielte, die Wippe schnell ihre beiden Lagen II und I wechselte; er hörte auf, wenn die Wippe allein den Inductions- oder allein den Batteriekreis schloss und konnte durch schnell abwechselnde Schliessung beider von Neuem hervorgerufen werden. Aus unserer Hypothese fliesst für jene interessante Thatsache folgende Erklärung: Jede kurze Schliessung der Batterie erneut die Erregbarkeit, so dass die Inductionsschläge wirksam sein können. Während diese aber durch den Muskel strömen, schwinden jene, um durch wiederholte kurze Schliessung des constanten Stromes von Neuem sich herstellen zu lassen, von Neuem zu schwinden u. s. f. Geschieht die Erneuerung der Erregbarkeit in Pausen von solcher Kürze, dass die unter dem Einflusse der Inductionsströme entstehende Contraction während der Pause nicht vorübergehen kann, so wird diese Zusammenziehung, für deren Eintritt ja die Hauptbedingung, die Erregbarkeit, durch schnell wiederholte kurze Schliessung des constanten Stromes fortwährend erneut wird, nothwendig zu einer stetigen.

An unsre beiden letzten Tabellen knüpfen sich noch einige weitere Bemerkungen. Es stellt sich heraus, dass die Erregbarkeit durch schnell vorübergehende Einwirkung des constanten Stromes um so vollkommner hergestellt wird, je kürzere Zeit zwischen der momentanen Schliessung der Batterie und jener längeren Schliessung derselben verflossen ist, welche, den Beginn unsrer hierher gehörigen Beobachtungsreihen bildend, im Muskel den hypothetischen Zustand hervorruft, der durch nur momentane Schliessungen des constanten Stromes die Erregbarkeit herzustellen erlaubt. Dies

geht daraus hervor, dass die in Zwischenpausen von je 10 Sec. hervorgerufenen Zuckungen mit der Dauer der Beobachtungsreihen immer kleiner werden, eine in jeder Reihe in derselben Weise wiederkehrende Verringerung. Zuletzt wird durch momentane Schliessung die Erregbarkeit nur in so wenig vollkommener Weise hergestellt, dass die mit blosser Oeffnung der Batterie eintretende Dichtigkeitsschwankung keine Contraction mehr hervorzurufen vermag (s. Tab. IX., 14.) sondern die Inductionsströme zu Hülfe genommen werden müssen. Aber nach einer gewissen Zeit leisten auch sie Nichts mehr (Tab. IX. 25. und 26.) und Resultate können nur dadurch wieder erzielt werden, dass wir den constanten Strom von Neuem längere Zeit einwirken lassen (Tab. IX. 27.), worauf das frühere Spiel von vorne beginnt (28. — 45.).

Wem übrigens an den früheren Beweisen für die Wirksamkeit der Inductionsströme auf Muskeln, welche durch den constanten Strom ihre Erregbarkeit wieder erlangt haben, ein Zweifel geblieben sein sollte, der findet diesen in der letzten Tabelle hinweggeräumt. Denn hier sehen wir die blosse Oeffnung der Batterie ganz ohne Erfolg, eine schnell darauf folgende Schliessung des Inductionskreises dagegen von nicht ganz geringen Contractionen begleitet.

VII.

In No. 3., 4. und 5. der zu Tab. V., VI. und VII. gehörigen Bemerkungen finden wir mehrfache Aufforderung, die Wirkung der beiden Stromesrichtungen, des absteigenden und des aufsteigenden Stromes, genauer zu studiren. Wir hatten

nämlich gesehen, dass der absteigende Strom früher aufhört, die Erregbarkeit wiederherzustellen, als der aufsteigende, dass mitunter nach Oeffnung des einen die Schliessung des andern Zuckung herbeiführte [1]), und wir hatten uns endlich die Frage aufgeworfen, welche Theile der Curve der Inductionsströme, die bei einer Schwingung der Feder des Magnetelectromotors erzeugt werden, wohl die wirksamen seien, — eine Frage, an deren directer Beantwortung wir scheitern und die wir reduciren mussten auf die Untersuchung der Wirkungen der beiden Stromesrichtungen. Wir wenden uns demnächst diesem Gegenstande zu.

Um die Richtung des constanten Stromes schnell wechseln zu können, ist eine kleine Veränderung in unserer Vorrichtung nöthig. Wir geben nämlich dem Pohl'schen Gyrotropen sein herausgenommenes Drathkreuz wieder, vermittelst dessen das Quecksilbernäpfchen b mit dem Näpfchen a', das Näpfchen b' mit a in Verbindung steht, und lassen den Inductionskreis ganz fort. Läuft der positive Pol der Batterie in das Näpfchen b, der negative in das Näpfchen b' aus, so geht bei der früherhin als II. bezeichneten Lage der Wippe der Strom durch den Muskel in absteigender, bei der Lage I. dagegen in aufsteigender Richtung. Ich verfuhr nun so, dass ich den Strom zuerst z. B. in der aufsteigenden Richtung durch den Muskel gehen liess, dann legte ich die Wippe nach der andern Seite um, doch nur so weit, dass der Batteriekreis geöffnet, aber noch nicht in entgegengesetzter Richtung geschlossen wurde. Dies geschah vielmehr erst, nachdem ich

1) Diese Beobachtung wäre, nach den folgenden Tabellen zu urtheilen, wahrscheinlich häufiger gemacht worden, wenn ich bei den bisher mitgetheilten Tabellen auf die Wirkung des Stromeswechsels besonders geachtet hätte. Ich studirte in jenen Reihen hauptsächlich den Effect der gewechselten Ströme und legte auf die Wirkung des Wechsels selbst nur beiläufig Werth.

mich vergewissert hatte, ob eine Oeffnungscontraction eintrat und von welcher Grösse diese war. Nachdem diese Beobachtung vollendet, schloss ich den constanten Strom in der absteigenden Richtung, beobachtete die etwaige Schlusszuckung und liess ihn ebenso lange, wie in der ersten Richtung geschlossen. Dann Oeffnung des absteigenden Stromes, Beobachtung der etwaigen Oeffnungszuckung, Schliessung des aufsteigenden Stromes und Erforschung des Effectes derselben u. s. f. Um die Resultate dieser Beobachtungsreihen übersichtlicher zu machen, müssen wir die frühere Form der Tabellen in die folgende umändern:

Die erste Columne giebt abwechselnd Schliessung und Oeffnung an (S. und O.).

In der zweiten ist, entsprechend den S. der ersten, die Dauer der Schliessung angegeben, welche stets bei je zwei zu einander gehörigen, mit den beiden Stromesrichtungen, angestellten Beobachtungen, dieselbe war. Als Zeiteinheit ist hier nicht die Secunde gewählt, sondern die durch einen Tactschlag meiner Secundenuhr repräsentirte Zeit, welche nach vielen Bestimmungen $\frac{5}{12}$ bis $\frac{12}{29}$ einer Secunde entspricht. Um die Tactschläge zu zählen, hatte ich die Uhr an das Ohr gebunden. Bei einiger Uebung gelangt man bald dazu, die Zählungen mit grosser Sicherheit auszuführen.

Die dritte und fünfte Columne enthält die Nummern der Beobachtungen, welche stets auf einander folgen:

1	3
2	4
5	7
6	8

1 und 3 resp. 5 und 7 entsprechend den Schliessungen der beiden Stromesrichtungen; 2 und 4, 6 und 8 etc. entsprechend den Oeffnungen.

Die vierte und sechste Columne enthalten in Millimetern

die Grösse der Contraction, welche den links daneben stehenden Beobachtungsnummern entspricht. Ueber der vierten und sechsten Columne steht ein aufrechter oder ein abwärts gerichteter Pfeil (↑ oder ↓), jener die aufsteigende, dieser die absteigende Stromesrichtung bezeichnend.

Nach diesen Auseinandersetzungen ist es klar, dass die Tabellen in folgender Weise zu lesen sind. In Tabelle X. wird zuerst der aufsteigende Strom geschlossen (No. 1.), wobei keine Zuckung erfolgt, wie die vierte Columne angiebt. Die Dauer der Schliessung beträgt nach Columne II. 10 unserer Zeiteinheiten ($= \frac{50}{12}$ Sec. $= 4\frac{1}{6}$ Sec.). Dann wird geöffnet (No. 2.) als Resultat des Actes eine Null in der vierten Columne verzeichnet, gleich darauf der absteigende Strom geschlossen (No. 3.), der beobachtete Effect der Schliessung in der sechsten Columne mit 0,2 mm verzeichnet, die Schliessung, wie Columne II. angiebt, 10 Zeiteinheiten unterhalten, dann geöffnet (No. 4.), wieder geschlossen (No. 5.) u. s. f.

Ein allgemeines Resultat der vorliegenden Beobachtungen kann ich den Tabellen voraufschicken, weil es dieselben zu seinem Verständnisse nicht voraussetzt. Wenn nämlich ein constanter Strom in einer bestimmten Richtung eine Zeit lang den unerregbaren Muskel durchströmt hat, so ist im günstigsten Falle Zuckung nur zu erreichen durch Oeffnung dieses und durch Schliessung des entgegengesetzten Stromes. Ist also z. B. der aufsteigende Strom zur Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit angewandt worden, so erhält man günstigen Falles Contraction durch Oeffnung des aufsteigenden und durch Schliessung des absteigenden Stromes. Hat man die Schliessungszuckung des letztern beobachtet und öffnet ihn nun schnell wieder, um den Strom in der ursprünglichen Richtung zu schliessen, so erhält man durch beide Acte keine Contraction. Wir werden also in den folgenden Tabellen die Oeffnungszuckung des aufsteigenden

und die Schliessungszuckung des absteigenden Stromes einer voraufgehenden längeren Schliessung des aufsteigenden, umgekehrt die Oeffnungszuckung des absteigenden und die Schliessungszuckung des aufsteigenden Stromes einer voraufgehenden längeren Schliessung des absteigenden Stromes zu danken haben. Wenn von der Herstellung der Erregbarkeit durch den einen oder den andern Strom die Rede ist, so bezieht sich der Ausdruck Erregbarkeit immer nur darauf, dass der Strom nach längerer Einwirkung im Muskel die Fähigkeit erzeugt, die Oeffnung desselben oder die Schliessung des entgegengesetzten mit Zuckung zu beantworten. Wir können demnach zwei Zustände im Muskel unterscheiden: 1) eine Erregbarkeit im Sinne des aufsteigenden Stromes, hervorgerufen durch längere Einwirkung desselben und sich äussernd in der Fähigkeit, bei Oeffnung des aufsteigenden oder bei Schliessung des absteigenden Stromes Zuckung zu veranlassen; 2) eine Erregbarkeit im Sinne des absteigendes Stromes, mutatis mutandis, ganz auf dieselbe Weise, wie die eben besprochene, zu definiren. Wie die Grösse der Zuckung bei Oeffnung des Stromes in der ursprünglichen und bei Schliessung in der andern Richtung von der Dauer der primären Schliessung abhängt, welche Unterschiede ferner der absteigende und der aufsteigende Strom in ihrer Wirkung zeigen, darüber wird uns eine Durchsicht der folgenden Tabellen Belehrung verschaffen.

Tab. X.

Präparat durch 50 Grm. 12 Stunden lang gedehnt. 45 Minuten nach der Entlastung völlig unerregbar.

	Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.		Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.
S	10	1.	0	3.	0,2	S	25	57.	?	59.	0,6
O	—	2.	0	4.	0	O	—	58.	0,2	60.	0,05
S	10	5.	0	7.	0,2	S	30	61.	deutlich.	63.	0,6
O	—	6.	0	8.	0	O	—	62.	0,2	64.	0,1
S	10	9.	0	11.	0,2	S	30	65.	0,05	67.	0,4
O	—	10.	0	12.	0	O	—	66.	0,1	68.	0,05
S	15	13.	0	15.	0,45	S	30	69.	deutlich.	71.	0,4
O	—	14.	0,05	16.	0	O	—	70.	0,2	72.	0,1
S	12	17.	0	19.	0,2	S	30	73.	0,05	75.	0,4
O	—	18.	0,05	20.	0	O	—	74.	0,1	76.	deutlich.
S	12	21.	0	23.	0,15	S	30	77.	0 (?)	79.	0,4
O	—	22.	0,03	24.	0	O	—	78.	0,1	80.	deutlich
S	12	25.	0	27.	0,2	S	20	81.	deutlich.	83.	0,2
O	—	26.	0,05	28.	0	O	—	82.	deutlich.	84.	0
S	20	29.	0	31.	0,45	S	20	85.	0	87.	0,2
O	—	30.	0,15	32.	0,1 (?)	O	—	86.	deutlich.	88.	?
S	20	33.	0	35.	0,25	S	20	89.	?	91.	0,2
O	—	34.	0,05	36.	0	O	—	90.	deutlich.	92.	0
S	20	37.	0	39.	0,25	S	20	93.	0	95.	0,2
O	—	38.	0,05	40.	merklich.	O	—	94.	deutlich.	96.	0
S	20	41.	0	43.	0,3	S	10	97.	0	99.	0,05
O	—	42.	0,1	44.	0,05	O	—	98.	0	100.	0
S	20	45.	0	47.	0,4	S	10	101.	0	103.	deutlich.
O	—	46.	0,1	48.	deutlich.	O	—	102.	0	104.	0
S	20	49.	0	51.	0,45	S	20	105.	0	107.	0,1
O	--	50.	0,1	52.	deutlich.	O	—	106.	deutlich.	108.	0
S	25	53.	?	55.	0,6	S	25	109.	0	111.	0,2
O	—	54.	0,15	56.	deutlich.	O	—	110.	0,05	112.	0

	Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.
S	25	113.	0	115.	0,1
O	—	114.	0,05	116.	0
S	30	117.	0	119.	0,2
O	—	118.	0,05	120	0
S	35	121.	0	123.	0,4
O	—	122.	0,1	124.	0
S	40	125.	0	127.	0,3
O	—	126.	0,1	128.	deutlich.
S	50	129.	0	131.	0,4
O	—	130.	0,1	132.	deutlich.
S	50	133.	0	135.	0,4
O	—	134.	0,1	136.	deutlich.
S	60	137.	deutlich.	139.	0,4
O	—	138.	0,2	140.	deutlich.
S	70	141.	deutlich.	143.	0,6
O	—	142.	0,2	144.	deutlich.
S	90	145.	deutlich.	147.	0,6
O	—	146.	0,2	148.	0,05
S	100	149.	0,1	151.	0,8
O	—	150.	0,25	152.	0,05
S	120	153.	0,1	155.	0,8
O	—	154.	0,2	156.	0,05
S	—	157.	0,1		

Pause von 8 Min. Darauf Schliessungen von 10—40 ohne Effect.

	Dauer der Schliessung.	No der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.
S	50	158.	0	160.	0,05
O	—	159.	0	161.	0
S	50	162.	0	164.	0,05
O	—	163.	0	165.	0
S	70	166.	0	168.	0,1
O	—	167.	deutlich.	169.	0
S	80	170.	0	172.	1,15
O	—	171.	0,05	173.	0
S	100	174.	0	176.	0,2
O	—	175.	0,1	177.	0
S	150	178.	0	180.	0,4
O	—	179.	0,2	181.	0
S	200	182.	0	184.	0,6
O	—	183.	0,15	185.	?
S	300	186.	0	188.	0,9
O	—	187.	0,4	189.	0

Der absteigende Strom versagt von jetzt ab seine Wirkung durchaus, selbst bei einer Schliessung von 1200.

Tab. XI.

Präparat 12 Stunden lang mit 70 Grm. belastet. 50 Minuten nach der Entlastung völlig unerregbar.

	Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.		Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.
S	10	1.	0	3.	merklich.	S	50	57.	0,05	59.	0,6
O	—	2.	0	4.	0	O	—	58.	0,05	60.	0,05
S	10	5.	0	7.	0,2	S	60	61.	0,1	63.	0,65
O	—	6.	0	8.	0	O	—	62.	0,05	64.	0,05
S	10	9.	0	11.	0,2	S	60	65.	0,1	67.	0,6
O	—	10.	0	12.	0	O	—	66.	0,05	68.	0,05
S	15	13.	0	15.	0,4	S	50	69.	0,1	71.	0,5
O	—	14.	0,05	16.	0	O	—	70.	0,05	72.	0,05
S	15	17.	0	19.	0,6	S	30	73.	0,1	75.	0,2
O	—	18.	0,05	20.	0	O	—	74.	0,05	76.	0
S	20	21.	0	23.	0,6	S	30	77.	?	79.	0,2
O	—	22.	0,05	24.	deutlich.	O	—	78.	0,05	80.	0
S	20	25.	0	27.	0,6	S	10	81.	deutlich.	83.	0,05
O	—	26.	0,05	28.	deutlich.	O	—	82.	0	84.	0
S	25	29.	0	31.	0,6	S	20	85.	0	87.	0,1
O	—	30.	0,05	32.	deutlich.	O	—	86.	0	88.	0
S	25	33.	?	35.	0,6	S	40	89.	0	91.	0,2
O	—	34.	0,05	36.	deutlich.	O	—	90.	deutlich.	92.	0
S	30	37.	?	39.	0,6	S	80	93.	deutlich.	95.	0,6
O	—	38.	deutlich.	40.	0,1	O	-	94.	0,05	96.	deutlich.
S	30	41.	deutlich.	43.	0,6		—	97.	0,05	Pause v. 10 M.	
O	—	42.	0,05	44.	deutlich.	S	30	98.	0	100.	0,05
S	40	45.	deutlich.	47.	0,7	O	—	99.	0	101.	0
O	—	46.	0,05	48.	deutlich.	S	50	102.	0	104.	0,1
S	40	49.	deutlich.	51.	0,65	O	—	103.	0	105.	0
O	—	50.	0,05	52.	deutlich.	S	70	106.	0	108.	0,2
S	50	53.	0,05	55.	0,45	O	—	107.	0,05	109.	0
O	—	54.	0,05	56.	deutlich.	S	90	110.	?	112.	0,25

	Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm		Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.
O	—	111.	0,05	113.	deutlich.	S	100	130.	deutlich.	132.	0,25
S	100	114.	0,05	116.	0,35	O	—	131.	0,05	133.	0
O	—	115.	0,05	117.	deutlich.	S	200	134.	0	136.	0,7
S	100	118.	0,05	120.	0,3	O	—	135.	0,08	137.	0
O	—	119.	0,05	121.	deutlich.	S	200	138.	0	140.	0,15
S	150	122.	0,05	124.	0,35	O	—	139.	0,05	141.	0
O	—	123.	0,1	125.	0						
S	100	126.	0	128.	0,35						
O	—	127.	0,05	129.	0						

Der absteigende Strom hat selbst bei 10 Min. langer Schliessung keinen Erfolg mehr, während der aufsteigende Strom noch wirksam bleibt.

Tab. XII.

Präparat 9 Stunden lang mit 80 Grm. belastet. 60 Minuten nach der Entlastung völlig unerregbar.

	Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.		Dauer der Schliessung.	No der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.
S	5	1.	0	3.	0,1	S	20	29.	deutlich.	31.	1,4
O	—	2.	0	4.	0	O	—	30.	0,2	32.	0,05
S	5	5.	0	7.	0,1	S	30	33.	0,15	35.	2,4
O	—	6.	0	8.	0	O	—	34.	0,4	36.	0,1
S	5	9.	0	11.	0,16	S	50	37.	0,4	39.	2,6
O	—	10.	0	12.	0	O	—	38.	0,6	40.	0,2
S	10	13.	0	15.	0,42	S	10	41.	0,5	43.	0,6
O	—	14.	0,05	16.	0	O	—	42.	0,1	44.	merklich.
S	10	17.	deutlich.	19.	0;52	S		45.	0,05		
O	—	18.	0,1	20.	0	2 Minuten Pause.					
S	10	21.	deutlich.	23.	0,4	S	10	46.	0	48.	0,15
O	—	22.	0,05	24.	?	O	—	47.	0	49.	0
S	15	25.	deutlich.	27.	1,0	S	20	50.	0	52.	0,62
O	—	26.	0,1	28.	0,05	O	—	51.	0,05	53.	deutlich.

	Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.		Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.
S	15	54.	deutlich.	56.	0,6	S	40	118.	0,4	120.	1,02
O	—	55.	0,1	57.	deutlich	O	—	119.	0,2	121.	0,05
S	5	58.	0,05	60.	0,15	S	50	122.	0,1	124.	1,02
O	—	59.	0	61.	0	O	—	123.	0,22	125.	0,05
S	10	62.	0	64.	0,2	S	40	126.	0,1	128.	0,8
O	—	63.	0	65.	0	O	—	127.	0,15	129.	0,05
S	15	66.	0	68.	0,2	S	30	130.	0,1	132.	0,6
O	—	67.	0	69.	0	O	—	131.	0,2	133.	0,05
S	20	70.	0	72.	0,25	S	20	134.	0,15	136.	0,5
O	—	71.	merklich.	73.	merklich.	O	—	135.	0,1	137.	merklich.
S	15	74.	0	76.	0,32	S	10	138.	0,1	140.	merklich.
O	—	75.	merklich.	77.	0	O	—	139.	0	141.	0
S	30	78.	0	80.	1,1	S	—	142.	0		
O	—	79.	0,1	81.	?	O	10 Minuten Pause.				
S	40	82	?	84.	1,4	S	30	143.	0	145.	0,15
O	—	83.	0,2	85.	0,2	O	—	144.	0	146.	0
S	30	86.	0,2	88.	1,2	S	30	147.	0	149.	0,19
O	—	87.	0,2	89.	0,05	O	—	148.	0	150.	0
S	20	90.	0,2	92.	1	S	40	151.	0	153.	0,4
O	—	91.	0,15	93.	0,05	O	—	152.	merklich.	154.	?
S	10	94.	0,1	96.	0,15	S	50	155.	merklich.	157.	0,6
O	—	95.	merklich.	97.	0	O	—	156.	0,15	158.	?
S	5	98.	0	100.	0,1	S	60	159.	0,1	161.	0,8
O	—	99.	merklich.	101.	0	O	—	160.	0,2	162.	?
S	3	102.	0	104.	deutlich.	S	40	163.	0,1	165.	0,65
O	—	103.	0	105.	0	O	—	164.	0,2	166.	?
S	10	106.	0	108.	0,15	S	20	167.	0,1	169.	0,4
O	—	107.	0	109.	0	O	—	168.	0,05	170.	0
S	20	110.	0	112.	0,4	S	10	171.	merklich.	173.	0,05
O	—	111.	0,05	113.	merklich.	O	—	172.	0 (?)	174.	0
S	30	114.	?	116.	0,75	S	30	175.	0	177.	0,38
O	—	115.	0,1	117.	merklich.	O	—	176.	0,05	178.	0

	Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.		Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.
S	50	179.	merklich.	181.	0,5	S	60	243.	0	245.	0,4
O	—	180.	0,1	182.	0	O	—	244.	0,05	246.	0
S	70	183.	0,08	185.	0,9	S	80	247.	0	249.	0,6
O	—	184.	0,2	186.	merklich.	O	—	248.	0,1	250.	0
S	60	187.	0,05	189.	0,8	S	100	251.	merklich.	253.	0,8
O	—	188.	0,2	190.	merklich.	O	—	252.	0,2	254.	0
S	40	191.	0,08	193.	0,65	S	120	255.	merklich.	257.	0,9
O	—	192.	0,15	194.	?	O	—	256.	0,2	258.	0
S	20	195.	merklich.	197.	0,4	S	150	259.	0,05	261.	1,0
O	—	196.	?	198.	0	O	—	260.	0,2	262.	merklich.
S	20	199.	0	201.	0,18	S	100	263.	0,05	265.	0,8
O	—	200.	merklich.	202.	0	O	—	264.	0,2	266.	0
S	10	203.	0	205.	0,05	S	50	267.	merklich.	269.	0,4
O	—	204.	0	206.	0	O	—	268.	0,05	270.	0
S	40	207.	0	209.	0,2	S	30	271.	merklich.	273.	0,2
O	—	208.	0,05	210.	0	O	—	272.	merklich.	274.	0
S	70	211.	0	213.	0,6	S	20	275.	0	277.	0,2
O	—	212.	0,15	214.	merklich.	O	—	276.	merklich.	278.	0
S	100	215.	merklich.	217.	1,0	S	10	279.	0	281.	0,05
O	—	216.	0,2	218.	merklich.	O	—	280.	0	282.	0
S	70	219.	0,08	221.	1,0	S	50	283.	0	285.	0,1
O	—	220.	0,2	222.	merklich.	O	—	284.	0	286.	0
S	40	223.	0,08	225.	0,6	S	80	287.	0	289.	0,1
O	—	224.	0,1	226.	0	O	—	288.	0	290.	0
S	10	227.	merklich.	229.	0,1	S	110	291.	0	293.	0,2
O	—	228.	0	230.	0	O	—	292.	merklich.	294.	0
S	20	231.	0	233.	0,2	S	50	295.	0	297.	0,15
O	—	232.	0	234.	0	O	—	296.	0	298.	0
S	30	235.	0	237.	0,2	S	30	299.	0	301.	0,05
O	—	236.	0	238.	0	O	—	300.	0	302.	0
S	40	239.	0	241.	0,25						
O	—	240.	merklich.	242.	0						

Der absteigende Strom bewirkt auch bei langer Schliessung nicht mehr Herstellung der Erregbarkeit.

Tab. XIII.

Präparat von einem 3 Tage vorher getödteten Frosche. Da noch Spuren von Erregbarkeit vorhanden waren, tetanisirte ich den Muskel bis zur gänzlichen Vernichtung derselben. Als 30 Minuten nach Beendigung des Tetanisirens sich das Präparat völlig unerregbar zeigte, begann die Versuchsreihe.

	Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.		Dauer der Schliessung.	No. der Beobachtung.	↓ Mm.	No. der Beobachtung.	↑ Mm.
S	10	1.	0	3.	0	O	—	50.	0,15	52.	0,1
O	—	2.	0	4.	0	S	130	53.	0,2	55.	0,35
S	20	5.	?	7.	0,1	O	—	54.	0,15	56.	0,1
O	—	6.	?	8.	0	S	140	57.	0,15	59.	0,3
S	20	9.	?	11.	0,1	O	—	58.	0,1	60.	0,05
O	—	10.	merklich.	12.	0	S	150	61.	0,08	63.	0,25
S	20	13.	merklich.	15.	0,1	O	—	62.	0,05	64.	merklich.
O	—	14.	merklich.	16.	0	S	—	65.	0,05		
S	30	17.	merklich.	19.	0,2	O	Pause von 6 Minuten. Alle Schliessungen unter 80 bleiben resultatlos.				
O	—	18.	0,05	20.	0						
S	40	21.	merklich.	23.	0,2						
O	—	22.	0,05	24.	merklich.	S	80	66.	0	68.	?
S	50	25.	sehr deutlich.	27.	0,35	O	—	67.	?	69.	0
O	—	26.	0,05	28.	merklich.	S	100	70.	0	72.	merklich.
S	60	29.	0,05	31.	0,4	O	—	71.	merklich.	73.	0
O	—	30.	0,1	32.	0,05	S	120	74.	0	76.	0,08
S	70	33.	0,1	35.	0,5	O	—	75.	merklich.	77.	0
O	—	34.	0,1	36.	0,05	S	140	78.	merklich.	80.	0,15
S	80	37.	0,07	39.	0,45	O	—	79.	0,05	81.	merklich.
O	—	38.	0,05	40.	merklich.	S	160	82.	0,05	84.	0,15
S	100	41.	0,05	43.	0,5	O	—	83.	0,05	85.	merklich.
O	—	42.	0,1	44.	merklich.	S	180	86.	merklich.	88.	0,15
S	110	45.	0,1	47.	0,4	O	—	87.	0,05	89.	merklich.
O	—	46.	0,1	48.	0,05	S	200	90.	0,05	92.	0,1
S	120	49.	0,2	51.	0,4	O	—	91.	0,05	93.	merklich.

In Tab. X. sehen wir zuerst den aufsteigenden Strom 10 Zeiteinheiten geschlossen (No. 1.). Seine Oeffnung (No. 2.) ist ohne Effect, dagegen die Schliessung des absteigenden Stromes (No. 3.) von einer Zuckung von 0,2 mm begleitet. Nach 10 Zeiteinheiten wird der absteigende Strom geöffnet (No. 4.), aber ohne Erfolg und darauf der aufsteigende Strom ebenso erfolglos geschlossen (No. 5.). So lange die Schliessungszeiten 10 nicht überschreiten, bleiben diese Resultate dieselben (No. 1 bis 12.). Als der aufsteigende Strom aber nach einer Schliessungsdauer von 15 (No 13.) geöffnet wurde (No. 14.), erfolgte eine Oeffnungszuckung von 0,05 mm und bei gleich darauf folgender Schliessung des absteigenden Stromes (No. 15.) eine Contraction von 0,45mm. Die 15 Zeiteinheiten währende Schliessung des absteigenden Stromes ist noch ohne Wirkung, denn bei No. 16. wie bei No. 17. steht eine Null. Wir haben also bisher nur Oeffnungszuckung des aufsteigenden und Schliessungszuckung des absteigenden Stromes erzielen können, und diese Erfolge bleiben bis zu dem mit No. 37. beginnenden Beobachtungscyclus die einzigen (denn die bei No. 32. stehende 0,1 ist verdächtig, weil sie in zu auffallender Weise aus der Reihe fällt.) Von hier ab bis No. 60. tritt zu den bisherigen beiden Zuckungen noch die Oeffnungszuckung des absteigenden Stromes, ein Beweis, dass der absteigende Strom selbst durch seine längere Schliessung die Erregbarkeit in seinem Sinne herstellt. Denn diese Oeffnungszuckung darf nicht auf Rechnung des aufsteigenden Stromes geschoben werden, weil sie nicht eintritt, wenn der absteigende Strom unmittelbar nach seiner Schliessung wieder geöffnet wird. Von No. 61. bis 76. treten alle vier Zuckungen ein, Schliessungs- und Oeffnungszuckung bei beiden Stromesrichtungen, doch prävalirt die Oeffnungszuckung des aufsteigenden und die Schliessungszuckung des absteigenden Stromes vor den beiden andern,

woraus zu folgern ist, dass bei gleich langer Schliessung der aufsteigende Strom die Erregbarkeit in höherm Maasse wiederherstellt, als der absteigende. Bei Verringerung der Schliessungsdauer (No. 81. bis 96.) versagt der absteigende Strom die Erregbarkeit in seinem Sinne ganz und bei noch weiter gehender Verringerung bleibt nur die Schliessungszuckung des absteigenden Stromes übrig (97. bis 104.), zu welcher sich wieder die Oeffnungszuckung des aufsteigenden gesellt (No. 105. bis 124.), als die Schliessungsdauer auf 20 bis 35 erhöht wurde. Bei noch weiterer Steigerung derselben tritt wieder die Oeffnungszuckung des absteigenden Stromes hinzu (No. 125. bis 136.) und endlich haben wir alle vier Zuckungen (No. 137. bis 157.). No. 158. bis 165. zeigt nur die Schliessungszuckung des absteigenden und 166. bis 89. ausser dieser die Oeffnungszuckung des aufsteigenden Stromes — beide Resultate der erregbarkeitserhöhenden Wirkung des aufsteigenden Stromes. Der absteigende Strom vermag nicht mehr selbst bei einer Schliessungsdauer von 1200′, die Erregbarkeit für seine Oeffnung und die Schliessung des entgegengesetzten Stromes herzustellen. — Die genau durchgenommene X. Tabelle mag als Ausgangspunkt für unsere Schlüsse über die Wirkung der beiden Stromesrichtungen dienen, die wir dann durch Analyse der andern Tabellen erweitern werden.

Als allgemeinstes Resultat springt zunächst in die Augen, dass der aufsteigende Strom ceteris paribus die Erregbarkeit viel schneller und in viel höherem Maasse wieder hervorruft als der absteigende, denn: 1) der aufsteigende Strom hat schon nach einer Schliessungsdauer von 10 Zeiteinheiten den Erfolg, die Erregbarkeit zu restituiren, weil schon nach dieser kurzen Schliessungszeit durch Schliessung des absteigenden Stromes Zuckung erhalten werden kann. Der absteigende Strom dagegen hat erst nach einer Schliessungszeit von 20 Sec. die Erregbarkeit in geringem Maasse hergestellt (wie

No. 40. 44. etc. zeigen). 2) Bei gleicher Schliessungsdauer, die so gross genommen wird, dass beide Stromesrichtungen die Erregbarkeit in ihrem Sinne herstellen, sind die Contractionen, welche durch längere Schliessung des aufsteigenden Stromes möglich gemacht werden, durchschnittlich grösser als diejenigen, zu deren Entstehen durch gleich lange Schliessung des absteigenden Stromes die Bedingungen hergestellt werden, wie sich aus No. 61. — 80. ergiebt. 3) Der absteigende Strom vermag in dem letzten Theile der Beobachtungsreihe nicht mehr, die Erregbarkeit herzustellen, während sie durch den aufsteigenden Strom noch erweckt werden kann. Wir gelangen hier bei der jetzigen Versuchsweise zu demselben Resultate, welches schon Tab. V. und VI. kennen lehrten.

Eine fernere Bemerkung, welche wir an Tab. X., knüpfen ist die, dass der aufsteigende Strom zuerst, bei kürzerer Schliesungsdauer, die Möglichkeit herstellt, Schliessungszuckung des absteigenden Stromes zu erreichen, und erst später, bei längerer Schliessungsdauer, auch Zuckung auf seine eigne Oeffnung herbeiführt. Dies Resultat ist constant, und wird sich in den folgenden analogen Tabellen wiederholen. Nicht so beständig verhält sich dagegen der absteigende Strom. In der vorliegenden Beobachtungsreihe sehen wir als Folge seiner Einwirkung zuerst die Oeffnungszuckung des absteigenden Stromes eintreten, erst später die Schliessungszuckung des aufsteigenden. In andern Fällen geht letztere der ersteren voran.

Endlich ein drittes, sehr interessantes Ergebniss der vorliegenden Tabelle, dass sich mit der steigenden Erregbarkeit des Muskels die Zuckungen entsprechend dem Zuckungsgesetze Nobili's einstellen. Auf der letzten, vierten, Stufe Nobili's [1]) bleibt von den vier Zuckungen nur die Schlies-

---

1) Cf. du Bois-Reymond, Untersuch. üb. thier. Electric. Bd. I. pg. 364.

sungszuckung des absteigenden Stromes übrig; sie tritt in Tab. X. zuerst auf. Demnächst hat Nobili's dritte Stufe ausser jener die Oeffnungszuckung des aufsteigenden Stromes als die vorletzte, welche verschwindet: sie ist bei uns die zweite, welche wiederkehrt. Als dritte wiederkehrende haben wir die Oeffnungszuckung des absteigenden Stromes und mit ihr die Zuckungen von Nobili's zweiter Stufe vorhanden. In andern Fällen, die wir ebenfalls kennen lernen werden, wird diese, um die Trias der zweiten Nobili'schen Stufe zu vervollständigen, durch die Schliessungszuckung des aufsteigenden Stromes ersetzt. Endlich Nobili's erste Stufe haben wir da, wo alle vier Zuckungen eintreten. Und in umgekehrter Folge, wie sich die Contractionen von der vierten bis zur ersten Stufe einfinden, wenn die Schliessungsdauer der constanten Ströme wächst, verschwinden sie mit abnehmender Schliessungszeit, um bei neuer Steigerung von Neuem wiederzukehren. Die seltene Regelmässigkeit dieser Erscheinungen, wie sie die vorliegende Tabelle bietet, tritt freilich nicht immer ein: doch auch Nobili's Gesetz lässt sich nicht mit Sicherheit an jedem Präparate bei steigender Ermüdung demonstriren.

Tab. XI. zeigt fast ganz dieselben Verhältnisse wie Tab. X., wie eine Vergleichung beider leicht ergiebt. Abweichend ist aber, dass in der letztern Tabelle stets ohne Ausnahme in den zu einander gehörigen Beobachtungen die Schliessungszuckung des absteigenden und die Oeffnungszuckung des aufsteigenden Stromes die grösseren Werthe haben, ein Verhältniss, welches wir in Tab. XI. durchaus nicht consequent durchgeführt finden. In No. 53.—60. z. B. ist die Oeffnungszuckung des aufsteigenden Stromes nicht grösser, als die Schliessungszuckung desselben, und in No. 61.—76. sinkt erstere sogar unter letztere, so dass die beiden Schliessungszuckungen vorherrschen über die beiden Oeffnungszuckungen,

Letzteres Verhältniss tritt in zwei Versuchsreihen, die ich besitze, von vornherein ein, so dass dadurch die Erscheinung des Nobili'schen Gesetzes verdeckt wird. Doch sind dies seltene Ausnahmen im Vergleiche zu der bei weitem grössern Mehrzahl der Fälle, in denen die Erfolge ganz ähnlich denen der Tab. X. u. XI. ausfallen, wie mich eine Durchsicht meines Tagebuches lehrt. Ich entlehne aus diesem statt aller andern noch eine besonders lange Tabelle, No. XII., welche ganz analoge Resultate, wie Tab. X. u. XI. liefert, deren Besprechung in der früheren Ausführlichkeit nicht nöthig sein wird. Es mag mir nur gestattet sein, auf das Erscheinen und Verschwinden der Nobili'schen Stufen, mit Rücksicht auf die Schliessungsdauer der constanten Ströme, aufmerksam zu machen. Wir haben in

	Nobili's Stufe.	bei einer Schliessungszeit von
No. 1—12.	IV.	5 Zeiteinheiten.
„ 13—16.	III.	10 „
„ 17—24.	II.	10 „
(doch statt der Oeffnungszuckung des absteigenden die Schliessungszuckung des aufsteigenden Stromes.)		
„ 25—45.	I.	20-30-50-10 Zeiteinheiten.
(wo in den zu einander gehörigen Beobachtungs-Cyclen die Oeffnungszuckung des aufsteigenden und die Schliessungszuckung des absteigenden Stromes prävaliren.)		
„ 46—49.	IV.	10 Zeiteinheiten.
„ 50—53.	II.	20 „
„ 54—57.	I.	15 „
(No. 58. entspricht noch der Schliessung des absteigenden Stromes von 15.)		
„ 58—69.	IV.	10-15 „
„ 70—73.	II.	20 „
„ 74—81.	III.	15-30 „
„ 82—94.	I.	40-20 „
„ 95—101.	III.	10- 5 „

	Nobili's Stufe.	bei einer Schliessungszeit von
No. 102—109.	IV.	3-10 Zeiteinheiten.
„ 110—117.	II.	20-30 -
„ 118—138.	I.	40-20 -
„ 139—150.	IV.	10-30 -
„ 151—171.	I.	40-50-60-40 -
„ 172—178.	III.	10-30 -
„ 179—182.	II.	50 -
„ 183—194.	I.	70-40 -
„ 195—198 unbestimmt.		
„ 199—202.	III.	20 -
„ 203—206.	IV.	10 -
„ 207—210.	III.	40 -
„ 211—222.	I.	70-100-70 -
„ 223—231 unbestimmt, der grossen Sprünge in den Schliessungszeiten wegen.		
„ 232—238.	IV.	20-30 Zeiteinheiten.
„ 239—250.	III.	40-80 -
„ 251—258.	II.	100-120 -
„ 259—262.	I.	150 -
„ 263—274.	II.	100-30 -
„ 275—278.	III.	20 -
„ 279—290.	IV.	10-50-80 -
„ 291—294.	III.	110 -
„ 295—302.	IV.	50 -

Bei einem Ueberblicke dieser Zahlen stellt sich im Allgemeinen heraus, dass mit den längeren Schliessungszeiten die höheren Stufen Nobili's erscheinen, doch wird die Regelmässigkeit durch einige Umstände getrübt. Vor allem hat die mit der Dauer der Beobachtungsreihe einhergehende materielle Destruction des Muskels sichtlichen Einfluss. Denn am Ende der Reihe müssen längere Schliessungszeiten angewandt werden, um diejenigen Stufen herzustellen, welche anfangs schon bei kürzeren Schliessungen eintreten. Ferner scheinen die Versuchspausen von bedeutendem Einflusse zu sein. Vor der ersten nach No. 45. gelegenen Pause haben

wir in No. 41—44. die Stufe I bei 10 Sec. Schliessungszeit, welche nach der Pause nur die Stufe IV. (46—49, 62—65) herstellt, während später noch bei dieser Schliessungszeit und selbst bei 5 die Stufe III eintritt. Ueberhaupt scheinen im Allgemeinen die Schliessungen bei gleicher Dauer von stärkerer Wirkung, wenn sie auf längere Schliessungen folgen, als wenn ihnen kürzere Schliessungen oder gar Versuchspausen vorangehen. — Immerhin trüben diese Unregelmässigkeiten das allgemeine Gesetz nicht, und die Tab. XII. bestätigt die Resultate der Tab. X. u. XI. in genügender Weise. Ganz denselben Charakter hat nun, wie schon erwähnt, die bei weitem grössere Zahl meiner Versuchsreihen, freilich aber giebt es einige Ausnahmen. In einer, sonst nicht besonders interessanten, Tabelle z. B. lässt sich nur die IVte und IIIte Stufe Nobili's erzielen, die höheren nicht, weil auf dies Präparat nur der aufsteigende Strom wirkte, abgesehen von fast unmerklichen Erfolgen des absteigenden, die er ganz am Anfange zeigte. Ferner habe ich zwei, ebenfalls schon oben erwähnte Versuchsreihen, in denen fast durchgängig die beiden Oeffnungszuckungen an Grösse hinter den beiden Schliessungszuckungen zurückstehen, während in den meisten Fällen eine Oeffnungs- und eine Schliessungszuckung prävaliren. Doch glaube ich, dass diese Fälle der bei weitem grössern Mehrzahl derjenigen, in welchen die Wiederherstellung der Erregbarkeit ganz im Sinne des Nobili'schen Gesetzes erfolgt, nicht widersprechen können.

Endlich kommen auch Fälle vor, wo die Wiederherstellung im Sinne des umgekehrten Nobili'schen Gesetzes erfolgt, welches sich bekanntlich ohne nachweisliche Gründe nicht selten geltend macht (Valentin's Umkehrung der Stimmungsrichtungen). Dies zeigt Tab. XIII. Wir sehen zuerst (No. 7.) die Schliessungszuckung des aufsteigenden Stromes eintreten, welche auf Nobili's zweiter Stufe als

erste verschwindet. No. 9—12., 70—77. zeigen die Oeffnungszuckung des absteigenden und die Schliessungszuckung des aufsteigenden Stromes, umgekehrt wie die dritte Stufe Nobili's. In No. 13 — 20. fehlt nur noch die Oeffnungszuckung des aufsteigenden Stromes, welche in den gewöhnlichen Fällen die zweite erscheinende, bei Nobili die als vorletzte verschwindende ist. Wo wir in Tab. XIII. alle vier Zuckungen auftreten sehen, prävalirt fast durchgängig die Oeffnungszuckung des absteigenden und die Schliessungszuckung des aufsteigenden Stromes, während in der Regel die Oeffnungszuckung des aufsteigenden und die Schliessungszuckung des absteigenden Stromes an Grösse die beiden andern übertreffen. Fälle, wie der vorliegende, gehören nach meinen Erfahrungen zu den seltenen, und Regel ist, dass die Zuckungen bei allmählig steigender Erregbarkeit in der umgekehrten Reihenfolge erscheinen, als sie nach Nobili bei allmählig sinkender Leistungsfähigkeit verschwinden.

Wenn wir die oben angeregte Frage, welche Theile der Curve der Inductionsströme, die durch eine Schwingung der Feder des Magnetelectromotors erzeugt werden, wohl Zuckung erzeugen werden in einem Muskel, dessen Erregbarkeit durch einen constanten Strom von bestimmter Richtung restituirt ist, wenn wir diese Frage wieder aufnehmen, so werden wir nach den Erfahrungen der letzten Untersuchungsreihen folgende Vermuthung äussern können. Wir haben gesehen, dass ein constanter Strom im Muskel einen Zustand hervorruft, welcher Zuckung eintreten lässt, wenn der ursprüngliche Strom von seinem Maximum auf Null herabsinkt oder wenn ein entgegengesetzter Strom von Null zu seinem Maximum ansteigt. Danach ist es wahrscheinlich, dass der absteigende Theil der Curve desjenigen Inductionsstromes, welcher dem

restituirenden constanten Strome gleich gerichtet ist, und der ansteigende Theil der Curve des andern Inductionsstromes es sein werden, welche Zuckung im Muskel veranlassen. Freilich kann diese Ansicht nur mit dem bescheidnen Anspruche auf Wahrscheinlichkeit aufgestellt werden. Ich wüsste aber keinen Weg, jener Frage mit mehr Sicherheit beizukommen.

Ich darf schliesslich nicht unerwähnt lassen, dass ich Versuchsreihen, ganz analog den bisherigen, an unerregbaren Muskeln von Fröschen anstellte, die ich todt in meinen Töpfen fand. Weil sie keine neuen Resultate ergaben, unterlasse ich die Aufführung der auf diese Muskeln bezüglichen Tabellen und bemerke nur, dass ich mehrere Male Muskeln traf, die schon im Beginne der Todtenstarre begriffen waren; sie zeigten die auffallende Erscheinung, wie die oben erwähnten Muskeln, deren Erregbarkeit ich durch warmes Wasser vernichtet hatte, nämlich eine allmählige Verkürzung während der Dauer des Versuches um 3—4mm., die kaum auf etwas anderes, als auf das Fortschreiten der Todtenstarre, bezogen werden kann.

VIII.

So weit die Thatsachen, welche zu ermitteln mir gelungen ist. Ueberblicken wir dieselben und vergleichen sie mit dem, was in dem bisher bearbeiteten Gebiete der Electrophysiologie bekannt ist, so finden wir wenigstens, so weit ich

durch historische Studien ermitteln konnte, leider durchaus keine Beobachtungen, an welche wir dieselben anknüpfen könnten, um uns eine Vorstellung über den Grund der Erscheinungen zu schaffen. Das Einzige, was meinen Versuchen ähnlich ist, habe ich bei Valentin gefunden (Lehrb. der Physiologie, IIte Aufl. Bd. II. Athl. 2. pg. 648). Dieser Forscher hat eine staunenswerthe Mühe darauf verwandt, die Gesetze der electrischen Nervenerregung kennen zu lernen, und führt auf 29 enggedruckten Seiten in einer nicht sehr durchsichtigen Zeichensprache eine grosse Reihe experimenteller Ergebnisse an, die freilich in Bezug auf die Art ihrer Gewinnung Manches zu wünschen übrig lassen. Vor Allem ist zu erwähnen, dass Valentin seine Beobachtungen nicht an einzelnen Muskeln, sondern an ganzen Froschschenkeln, und nicht immer an denselben Muskelgruppen des Schenkels, sondern bald an denen des Oberschenkels, bald an dem Wadenmuskel, bald an den kleinen Muskelchen der Fusszehen anstellte. Dass die Sicherheit der Beobachtung unter diesen Umständen ausserordentlich gefährdet ist, um so mehr, als die verschiedne Stärke der Contractionen nur durch ungefähren Augenschein geschätzt wurde, leuchtet von selbst ein. Als meinen Versuchen ähnlich ist folgende Beobachtung Valentin's anzuführen, die ich wörtlich mit Beibehaltung der Zeichensprache mittheile *): „Die Verwirrung der Molecularverhältnisse, durch welche die Schliessungszuckung bedingt wird, kann selbst noch durch den peripherischen Strom veranlasst werden, wenn dieser an und für sich keine Zusammenziehung zur Folge hat. Ein Froschschenkel z. B., der früher gleichartig geantwortet hatte, war durch den letzten anhaltenden centripetalen Schluss so weit herabgekommen, dass sich

1) Die Erklärung der Ausdrücke Valentin's mag der sich interessirende Leser im Originale nachsehen.

p = c = 0000 ergab. Liess ich nun einen peripherischen Strom eine Minute lang durchgehen, so lieferte dieser p = 0100. Liess ich aber unmittelbar darauf eine Reihe peripherischer und centraler Ströme so schnell als möglich hinter einander wirken, so erhielt ich p = 1100 c = 1000, p = 0000, c = 1000, p = 0000, c = 1 bis 2 000, p = 0000, c = 1000, p = 0000, c = 1 bis 2 000, p = c = 0000". Valentin hatte es also mit einem Schenkel zu thun, dessen Nerv eine Zeit lang von einem constanten Strome in aufsteigender Richtung durchflossen worden war und sich dann als unerregbar erwies. Ein absteigender Strom, 1 Min. lang den Nerven durchströmend, hatte bewirkt, dass bei Oeffnung des absteigenden und bei Schliessung des aufsteigenden Stromes Zuckung eintrat. — Doch sind gar keine weitern Bedingungen des Versuches, namentlich nicht die vorangegangenen electrischen Misshandlungen des Nerven, genauer angegeben, ferner nicht erwähnt, ob dem Nerven Ruhe gelassen war, damit er sich von selbst erhole, — kurz, wenn Valentin hier etwas von den Erscheinungen vor sich hatte, die ich weitläufig behandelt habe, so waren es jedenfalls nur Spuren, die weiter zu verfolgen er nicht für nöthig hielt.

Ich hoffte, in dem Kapitel von den Modificationen der Erregbarkeit durch constante Ströme einen Anknüpfungspunct für die Resultate meiner Untersuchungen zu finden, doch habe ich die geschichtlichen Daten, welche in reicher Fülle in du Bois-Reymond's Werk (Bd. I. pg. 365 sq.) enthalten, vergeblich durchsucht. Von den früheren Experimentatoren wurde mit constanten Strömen nur an Nerven und Muskeln gearbeitet, die noch im Besitze ihrer Erregbarkeit waren, um die Veränderung der letztern durch die Ströme kennen zu lernen. Einige Thatsachen, welche von jenen Forschern angeführt werden, erinnern an die Ergebnisse meiner Versuche, von denen sie jedoch dadurch ganz

verschieden sind, dass sie sich nur auf noch erregbare Präparate beziehen; die Wirkung der Ströme auf nicht mehr erregbare Muskeln, auf deren Erforschung ich durch einen glücklichen Zufall geführt wurde, ist früherhin von Niemandem untersucht worden.

Der unermüdliche Ritter hatte Beobachtungen angestellt, aus welchen er folgerte, dass der aufsteigende Strom die Erregbarkeit erhöhe, der absteigende sie vermindere. Jener sollte nach längerer Einwirkung bei seiner Oeffnung Tetanus im durchströmten Muskel erzeugen, während dieser die Erregbarkeit selbst bis auf Null herabsetze. Nach Volta's, später von Marianini bestätigten, Versuchen sollen Ströme von beiden Richtungen ganz gleiche Effecte haben. Jeder constante Strom, der längere Zeit durch einen Schenkel gegangen ist, macht diesen unfähig, auf Oeffnung und Schliessung zu reagiren, ruft in ihm dagegen Erregbarkeit für die entgegengesetzte Stromesrichtung hervor. Wirkt der Strom in der zweiten Richtung längere Zeit auf den Schenkel ein, so ist die Erregbarkeit für diese Richtung verloren, für die erste aber wieder hergestellt u. s. f. Ritter erklärt, nach du Bois-Reymond, später, dass starke Ketten, Säulen, stets absolut „deprimirend" für die gerade stattfindende Stromesrichtung wirken, einfache Ketten dagegen den oben erwähnten Effect bei verschiedener Richtung ihrer Ströme im Muskel zeigen. Marianini, der mit grossen Säulen von 60 Plattenpaaren arbeitete, läugnet die „exaltirende" Wirkung des aufsteigenden Stromes und schliesst sich im Ganzen an Volta an. Er bemerkte unter Anderm, dass, wenn ein vom Gesammtorganismus getrennter Muskel von einem constanten Strome so lange durchströmt ist, bis er auf denselben nicht mehr reagirt, er die Reactionsfähigkeit durch blosse Entziehung des Stromes wieder erlangen kann, eine Erfahrung,

welche er durch Annahme eines „principe réparateur“ im im Muskel zu deuten sucht. —

Dürfen wir nun die Ergebnisse, welche jene Forscher an erregbaren Muskeln erlangten, mit denjenigen vergleichen, welche uns der unerregbare Muskel liefert? Dürfen wir voraussetzen, dass da, wo sich Widersprüche zwischen beiden finden, die einen auf unrichtiger Beobachtung beruhen? Oder wird in diesen Fällen der constante Strom auf die erregbaren Muskeln in anderem Sinne wirken, als auf unerregbare? Ich wage hierüber ein Urtheil nicht, um so weniger, als vielleicht Herr Eckhard in nächster Zeit neue Erfahrungen betreffs der Modificationen der Erregbarkeit durch constante Ketten mittheilt. Doch wird es in jedem Falle erlaubt sein, meine Erfahrungen den entsprechenden Ritter's, Volta's und Marianini's gegenüberzustellen.

Nach Ritter erhöht der aufteigende Strom die Erregbarkeit, wenn er nicht über eine gewisse Stärke steigt; zu stark dagegen, deprimirt er dieselbe, was der absteigende Strom immer thut. Wir dagegen haben gesehen, dass beide Ströme die Erregbarkeit in gewisser Weise restituiren, wenn sie geschwunden ist. Beide befähigen den Muskel wieder, auf ihre Oeffnung mit Zuckung zu antworten. Der qualitative Unterschied also, den Ritter zwischen beiden Strömen aufstellt, besteht in unsern Versuchen in der That nicht, doch liegt ein andrer, ein quantitativer, Unterschied bestimmt vor: denn der aufsteigende Strom wirkt ceteris paribus früher, stärker und länger, als der absteigende Strom. — Ritter beobachtete nach Oeffnung des aufsteigenden Stromes Tetanus. So viel ich gesehen, tritt der Tetanus bei beiden Stromesrichtungen ein, wenn sie längere Zeit gewirkt haben. Nach nur kurzer Schliessung hat die Oeffnung eine schnell vorübergehende kleine Zuckung zur Folge, nach längerer Schliessung dagegen eine grössere Contraction, welche

schnell ansteigend, so langsam wieder sinkt, dass die Expansion mehrere Secunden dauert. Schliesst man während der allmähligen Expansion den geöffneten Strom wieder, so beschleunigt sich die Ausdehnung des Muskels sichtlich, der constante Strom hebt gewohnter Weise die Muskelthätigkeit auf: wie es mir scheint, ein Beweis dafür, dass eine tetanische Contraction vorliegt, welche unter dem Einflusse des constanten Stromes plötzlich nachlässt. — Wie die von Ritter beobachteten Erscheinungen sich den unsrigen nicht anschliessen, so passt auch die Volta'sche Alternative nicht ganz dazu. Denn nach Volta und seinem Nachfolger Marianini vernichtet der constante Strom die Erregbarkeit für seine Stromesrichtung: wir sahen dagegen die erloschene Erregbarkeit unter dem Einflusse des constanten Stromes in der Weise wiederkehren, dass der Muskel auf Oeffnung dieses Stromes mit Zuckung zu reagiren fähig wird. Der zweite Theil der Alternative dagegen, der Satz, dass jede Stromesrichtung die Erregbarkeit für die entgegengesetzte hervorrufe, stimmt wenigstens zum Theile mit unseren Erfahrungen. Nach Volta soll der Muskel sowohl auf Schliessung als auf Oeffnung des neuen Stromes mit Zuckung antworten: dies bestätigt sich bei uns wenigstens für die Schliessung. Die unter den bekannten Umständen beobachteten Schliessungscontractionen haben, sobald sie eine irgend beträchtlichere Grösse erlangen, immer tetanischen Character, denn sie gehen ausserordentlich langsam vor sich. Wie früher der Oeffnungstetanus, so kann auch dieser Schliessungstetanus aufgehoben werden, wenn man den Strom in seiner ersten Richtung schliesst. (D. h. also in derjenigen, welche die Erregbarkeit wieder hergestellt hat.) Dagegen geht der Tetanus nur ganz allmählig vorüber, die Expansion beschleunigt sich durchaus nicht, sondern der Tetanus verstärkt sich sogar augenscheinlich, während der con-

stante Strom in derjenigen Richtung, welche die Schliessungscontraction hervorbrachte, (die also entgegengesetzt der Richtung ist, welche die Erregbarkeit restituirt hat,) durch den Muskel geht. Der constante Strom ist also in diesem Falle nicht „Hinderniss der Muskelzuckung", eine auffällige Ausnahme von Eckhard's Gesetze.

Wenn endlich Marianini erwähnt, dass ein Muskel seine für eine bestimmte Stromesrichtung verlorene Erregbarkeit durch längere Entfernung aus dem Kreise des Stromes wiedererlangt, so sahen wir gegentheils die neugewonnene Erregbarkeit schwinden, wenn der Muskel dem Strome entzogen wurde, und erst wiederkehren, wenn der Strom ihn von Neuem eine Zeit lang durchflossen hatte.

Sollen wir es wagen, anknüpfend an die bisher bekannte und namentlich an die durch den Multiplicator ermittelte Einwirkung electrischer Ströme auf Nerv und Muskel, uns eine Hypothese über den Grund der auffälligen Erscheinungen zu ersinnen, welche wir im Laufe dieser Untersuchungen kennen gelernt haben? Ich halte es vorläufig für unthunlich, bestimmte Vermuthungen zu äussern, um so mehr, als wir ausser Stande sind, eine wichtige Vorfrage zu beantworten. Offenbar tritt uns, wenn wir unsere Erfahrungen ein wenig in Ueberlegung ziehen wollen, das alte Problem in veränderter Gestalt entgegen, welches seit Haller in der allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie eine so grosse Rolle spielt, die Frage nach der Irritabilität. Ich muss bekennen, dass Eckhard's neueste experimentelle Entscheidung dieser Frage für mich nicht die überzeugende Kraft hat, die ich einem experimentum crucis in der so wichtigen Angelegenheit wünschte. Auf den ersten Anblick ist es allerdings sehr einladend, die Haller'sche Irritabilität für widerlegt

zu halten, wenn man sieht, dass eine electrische Erregung von gewisser Stärke, auf einen Muskel applicirt, dessen Nerv von einem starken constanten Strome durchflossen ist, keine Zukkung hervorbringt, bis die constante Kette geöffnet wird. Doch macht Eckhard selbst sich sehr gerechtfertigte Einwände, welche ich durch seine kaum entzifferbaren Gegengründe nicht für völlig widerlegt halten kann [1]). Die Bedingungen des ganzen Versuches sind sehr complicirt und die aus ihm von Eckhard mit grosser Sicherheit gezogenen Schlüsse erscheinen um so gewagter, wenn man bedenkt, dass auf der einen Seite das im Pfeilgifte enthaltene Narcoticum die Erregbarkeit der Nervenstämme (nach C. Bernard) schnell vernichtet, während die der Muskeln ungeschmälert fortbesteht, dass auf der andern Seite Blausäure (nach Stannius: Zwei Reihen physiologischer Versuche. Müller's Archiv 1852) die Leistungsfähigheit der Muskeln nach kurzer Einwirkung aufhebt, während sie die der Nervenstämme nach gleich langer Einwirkung nicht afficirt. Wenn hiernach die Leistungsfähigkeit der Nerven und die der Muskeln einzeln vernichtet werden kann, so ist es kaum denkbar, dass die Leistungen der einen an die der andern unweigerlich geknüpft sind. Doch gleichviel für unsere Versuche, bei deren Beurtheilung wir die Irritabilitätsfrage unentschieden lassen wollen. Wir haben, bevor wir an die Erklärung derselben im entferntesten denken können, zwei Fragen zu beantworten: 1) Beruht die Unerregbarkeit der Muskeln, die uns als Object zur Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit vorlagen, auf einer Unfähigkeit der Muskelfasern selbst oder der im Muskel verlaufenden Nervenfasern oder beider, ihrer Function vorzustehen? 2) Welchen von diesen Elementen des Muskels im Ganzen, vorausgesetzt dass beide leistungsun-

1) Cf. dessen Beiträge zur Anatomie und Physiologie. pg. 49.

fähig sind, wird durch den constanten Strom ihre Leistungsfähigkeit restituirt? — Fragen, die nur aufgeworfen zu haben fast eine zu grosse Kühnheit ist. Unter solchen Umständen ist es natürlich, dass wir von jedem Versuche einer bestimmten Hypothese abstehen, und nur flüchtig will ich auf einen Punct aufmerksam machen. Im Nerven erzeugt der electrische Strom bekanntlich dipolare Anordnung der Molekeln. Beim Aufhören des Stromes verschwindet der Electrotonus und zugleich mit der Lagenveränderung der electromotorischen Molekeln tritt Muskelzuckung ein. Im Muskel lässt sich ebenfalls nach neuen Untersuchen von du Bois-Reymond, deren Resultate in Kürze vor einer englischen Naturforscherversammlung zu Belfast vorgetragen und aus deren Protocollen in Valentin's Grundriss der Physiologie übergegangen sind, ein Electrotonus durch constante Ströme herstellen, der sich jedoch auf die unmittelbar durchströmte Muskelstrecke beschränkt. Ob sein Schwinden mit Contraction Hand in Hand geht, ist noch nicht bekannt geworden. Ueberhaupt wissen wir von seinen Gesetzen noch nichts Näheres. Vielleicht wäre es möglich, die von uns beobachteten Erscheinungen mit diesem Muskel-Electrotonus in Verbindung zu setzen. Wahrscheinlich hängt die Zuckung, wie die negative Schwankung des Muskelstromes lehrt, mit einer Lagenveränderung der electromotorischen Muskelmolekeln zusammen. In Muskeln der Art, wie sie uns als Untersuchungsobjecte vorliegen, ist der Muskelstrom auf ein Minimum reducirt, vielleicht weil die Molekeln ihre normale peripolare Anordnung zum grossen Theile aufgegeben haben, aus der sie bei der Zuckung in irgend einer Weise ausweichen. Wenn nun der constante Strom den Molekeln im Muskel, dessen ganze Länge er durchströmt, dipolare Anordnung ertheilt, so wäre ihnen damit eine Lage gegeben, aus der sie beim Aufhören des Stromes weichen müssen, weil eben die Be-

dingung dieser Lagerung aufhört. Wir könnten uns also denken, der constante Strom stelle durch Einführung des electrotonischen Zustandes die Bedingung zu einer Schwankung, zu einer Bewegung der Muskelmolekeln her, eine Bedingung, welche vorher den ihres Stromes schon fast ganz verlustig gegangenen, d. h. einer gesetzlichen Lagerung ihrer Molekeln entbehrenden, Muskeln fehlt; und mit Herstellung der Bedingung zu einer Schwankung der Molekeln sei die Möglichkeit einer Contraction gegeben, d. h. die Erregbarkeit restituirt.

Doch schon haben wir zu viel des „Vielleicht" und des „Wenn" auf einander gehäuft. Ich halte es für gerathener, von jeder weitern Ausführung meiner Hypothesen abzustehen und vorläufig die fernere Entwicklung unserer Kenntnisse über die electrischen Verhältnisse der Muskeln abzuwarten, ehe ich eine weitere Deutung der von mir gefundenen Thatsachen wage, die ich der Beachtung der Physiologen empfehlen zu dürfen glaube.

Es liegt auf der Hand, dass fernere Experimente über den Kreis der vorgelegten Erscheinungen, namentlich darüber, ob sich Aehnliches an den Nerven allein nachweisen lässt, sehr wünschenswerth sein würden. So weit meine allerdings wenig ausgedehnten Erfahrungen hierüber reichen, vernichten die Eingriffe, welche den Nerven in kürzerer Zeit unerregbar machen, seine materielle Structur so weit, dass sich von ihm keine Leistungen mehr erwarten und erreichen lassen. Doch sind meine Versuche darüber nicht so zahlreich, dass ich mich entscheiden könnte. Ich würde es mir nicht nehmen lassen, die Angelegenheit in nächster Zeit weiter zu führen, wenn mich nicht äussere Verhältnisse für den Augenblick in andre Kreise wissenschaftlicher Untersuchungen führten.

Vierter Artikel.

Neue Methode, motorische Nerven auf mechanischem Wege zu tetanisiren.

(Hierzu Tab. III, Fig. 3, 4, 5.)

Seit E. du Bois-Reymond im Jahre 1842 sich der Volta-Inductionsströme und Eduard Weber vier Jahre später der Inductionsströme einer Saxton'schen Maschine zum Tetanisiren motorischer Nerven bediente, Ersterer, um die Veränderungen des Muskelstromes während des Tetanus zu studieren, Letzterer um die mechanischen Eigenschaften des contrahirten Muskels zu untersuchen, vorzüglich aber, seit du Bois durch seinen Schlitten-Magnetelectromotor die Experimentatoren mit einem ebenso beim Gebrauche bequemen, als in Bezug auf beliebige Abstufung der Stromesintensität vollkommnen Instrumente beschenkte —, seitdem ist es in der Nervenphysiologie ganz allgemein Gebrauch geworden, den electrischen Tetanus zur Untersuchung motorischer Nerven auf ihren functionellen Verbreitungsbezirk im Organismus anzuwenden. In der That ist es höchst wünschenswerth, statt der flüchtig vorübergehenden Wirkung einer einzelnen Erregung den Effect schnell auf einander folgender Erregungen beobachten zu können, denn er verleiht den Zuständen Dauer, welche eine Einzelerregung nur auf Momente, oft zu kurz selbst für die aufmerksamste Beobachtung, in die Erscheinung ruft. Man kann sich also durch das Tetanisiren vor der Gefahr des Uebersehens mehr sichern, als es bei andern Methoden der Nervenerregung möglich ist.

Wenn nur der electrische Tetanus nicht eine andre Gefahr, kaum geringer als jene beseitigte, mit sich führte, die des Zuvielsehens! Ich will ganz davon abstrahiren, dass der electrische Strom, der durch ein frei präparirtes Stück eines mit dem ganzen übrigen Körper zusammenhängenden Nerven geleitet werden soll, nur zu gerne in andre, ihm leichtsinniger Weise gebotene, Bahnen einbricht, die wider Wissen und Willen des Experimentators ihm geöffnet sind. Er wird auf solchen unerlaubten Wegen, für die ihm kein Pass ertheilt ist, und die er nur der Unvollkommenheit der Gränzsperre wegen betritt, nur zu oft nicht vermuthet und nicht entdeckt. Wirkungen, die er hier ausübt, werden auf die Bahn bezogen, für die allein man ihm Legitimation ertheilt zu haben glaubt: so entstehen Irrungen, oft sehr grober Art. Diese Quelle des Irrthums, die sehr bekannt und gescheut ist, lässt sich bei einiger Sorgfalt mit Sicherheit vermeiden. Doch giebt es andre, im Allgemeinen weniger gefürchtete und doch nicht weniger gefahrvolle Fehlerquellen: unipolare und paradoxe Zuckungen täuschen leicht selbst umsichtige Beobachter, und wenn man sich vor ihnen hüten will, wird eine Reihe sehr umständlicher Vorsichtsmaassregeln zur Controle und zur Beseitigung der Uebelstände nöthig, welche den Versuch erschweren und in die Länge ziehn. So z. B. müssen stromprüfende Froschschenkel in der Nähe des untersuchten Nerven angebracht, der Stromesstärke ein gewisses beschränktes Maximum ertheilt, das ganze Thier, dessen Nerv Object der Untersuchung ist, auf einen Isolierschemel gestellt, ja zur völligen Sicherung der Gebrauch der Inductionsströme ganz ausgeschlossen werden.

Alle diese Uebelstände hat nur der electrische Tetanus. Wir besitzen noch andre Methoden zu tetanisiren. Durch chemische Einwirkung lässt sich ein freilich nicht sehr starker Tetanus erzielen, welcher überdies die Unbequemlichkeit

hat, nicht momentan nach Belieben unterbrochen werden zu können. Wenn man einen Nerven in concentrirte Kochsalzlösung taucht, so entsteht nach einiger Zeit Starrkrampf in den von ihm versorgten Muskeln, der jedoch mit der Entfernung des Nerven aus der Salzlösung nicht aufhört, sondern eine die Geduld des Beobachters ermüdende Dauer beibehält. Denn durch Capillarwirkung ist ein Theil der Flüssigkeit in die interfibrillären Räume des Nerven gedrungen; durch Diffusion wird dem Inhalte der Nervenröhren Wasser entzogen und so immer neue und neue Theile des Nerven dem Absterben zugeführt, wodurch sich für die Muskelfasern die Anregung zur Bewegung immer von Neuem wiederholt. Es hat also auch diese Art des Experimentirens Unannehmlichkeiten, ganz abgesehen davon, dass die so erzielten tetanischen Muskelcontractionen an Stärke hinter den auf electrischem Wege herbeigeführten sehr beträchtlich zurückstehen.

Es schien mir unter diesen Umständen wünschenswerth, eine Methode, auf mechanischem Wege zu tetanisiren, ausfindig zu machen, bei welcher die kurz berührten Uebelstände der eben aufgezählten Methoden vermieden würden. So viel wir bisher wissen, ist die mechanische Nervenerregung geknüpft an eine lokale Zerstörung des Nerven. Als du Bois-Reymond die negative Schwankung des Nervenstromes bei mechanischer Erregung des Nerven nachweisen wollte, construirte er ein gezahntes Rädchen, welches auf Tab. IV. des zweiten Bandes seiner „Untersuchungen über thierische Electricität“ in Fig. 131. abgebildet ist. Dieses Rädchen wird über den Nerven, welcher in einer Korkrinne liegt, vom centralen nach dem peripherischen Ende zu hingerollt, und jeder Zahn zerquetscht an seiner Berührungsstelle den Nerven. Bei gehörig schneller Aufeinanderfolge der Quetschung entsteht ein Tetanus, „stark und dauernd“, und die negative Schwankung der Multiplicatornadel ist „un-

zweideutig". Diese, zur Erreichung des von ihrem Erfinder beabsichtigten Zweckes vollkommen ausreichende Methode, mechanisch zu tetanisiren, hat nur einen Uebelstand: der benutzte Nerv wird binnen kürzester Zeit seiner ganzen Länge nach zerstört und zu nochmaliger Benutzung unbrauchbar. Dabei wird mit dem kostbaren Nerven in gewisser Weise Luxus getrieben; denn die Zähne stehen auf der Peripherie des Rädchens so, dass auf einen Millimeter des Nerven nur eine Quetschung kommt. Zwischen denjenigen Puncten des Nerven also, welche zerstört und dadurch zur Erregung des Muskels benutzt wurden, liegen andre, welche unzerstört und deshalb unbenutzt bleiben, und die Summe der nicht verwertheten Puncte ist wohl grösser, als die der zum Besten der Muskelerregung verwertheten.

Ich stellte mir nun zunächst die Aufgabe, den Nerven allmählig durch mechanische Einwirkung auf solche Art zu misshandeln, dass kein Punct desselben der zerstörenden Einwirkung entgehen konnte. Doch kam ich gleichzeitig noch auf eine andre Idee, wie sich vielleicht mechanischer Tetanus in vollkommenerer Weise herstellen liesse. Nach der bisherigen allgemeinen Annahme leitet eine mechanische Einwirkung nur dann in dem motorischen Nerven den zuckungserregenden Vorgang ein, wenn sie denselben local zerstört. Sollte aber die locale Zerstörung unveräusserliche Bedingung für den Eintritt der Erregung sein? Wenn, was mit einer an Gewissheit grenzenden Wahrscheinlickeit behauptet werden darf, der zuckungserregende Vorgang im Nerven auf einer Molecularbewegung, gleichviel welcher Art, in dem Inhalte der Nervenprimitivröhren beruht, so fällt es, scheint mir, nicht in den Bereich der Absurditäten, jene Molecularbewegung durch eine mechanische Einwirkung herstellen zu wollen, welche nicht stark genug ist, um den Nerven sofort an der Stelle, an welcher sie ihn trifft, direct zu zerstören.

Freilich wäre es verkehrt, so zu Werke zu gehen, dass man sich eine tiefer eingehende Vorstellung von der Art und Form jener Molecularbewegung bildete und nun auf Mittel dächte, eine Bewegung von jener hypothetischen Natur einzuleiten. Das würde unbedenklich nicht, oder doch nur zufällig und gewiss in andrer, als der gedachten, Weise zum Ziele führen können. Ich durfte nur so meinen Zweck erreichen wollen, dass ich im Allgemeinen in dem Nerveninhalte eine gegenseitige Verschiebung der Molecüle herbeizuführen mich bemühte, hoffend, dass unter den vielen eintretenden Bewegungsformen auch diejenige sein werde, welche den Eintritt der Zuckung veranlasst. In dieser Absicht legte ich zuerst den Nerven des Froschschenkels auf eine Glastafel, die ich mit einem Violinbogen stark strich: dieses Verfahren rührte den Muskel gar nicht, während in einem neben dem Nerven befindlichen Wassertropfen kleine suspendirte Theilchen in zitternde Bewegung geriethen. Als ich aber an den Nerven, der auf dem Glase lag, den einen Arm einer ins Tönen versetzten Stimmgabel hielt, zuckte der Muskel bei der ersten Berührung. Die Contraction liess schnell nach, weil die Schwingungen der Gabel bei der Berührung mit dem Nerven sehr bald aufhörten. Schon eines bessern Erfolges erfreute ich mich, als ich die eine in starke Schwingungen versetzte Branche einer Pincette an den Nerven hielt: der Muskel gerieth in wiederholte Contractionen, die so rasch einander folgten, dass die Bewegung tetanischen Charakter annahm. Freilich war eins zu bedenken. Es schlug nämlich ein Metall an den Nerven, dessen Oberfläche zweifelsohne Puncte von ungleichartigem electrischen Verhalten hatte. Trafen solche Puncte den feuchten Nerven, so müssten Ströme entstehen, und die Bewegung war vielleicht electrischen, nicht mechanischen Ursprungs. Allein der vibrirende Arm einer Elfenbeinpincette hatte ganz ähnliche Wirkung, und ich zwei-

felte nicht, dass sich ein ordentlicher Tetanus herstellen lassen werde, wenn ich den Vibrationen des an den Nerven gehaltenen Körpers Dauer verlieh. Zu diesem Zwecke liess ich die Feder meines Magnetelectromotors über den kleinen Anker hinaus verlängern und an dem Ende der Verlängerung ein Elfenbeinhämmerchen anbringen [1]. Wider Erwarten stand die Feder still, sobald der Nerv, auf einer Glasplatte gelegen, unter das Hämmerchen gehalten wurde. Die Schwingungen der Feder waren also zu schwach, um nicht durch einen auch nur sehr kleinen Widerstand gehemmt zu werden, aus doppeltem Grunde. Einmal weil der kleine Electromagnet des Instrumentes Magnetismus von nur geringer Intensität entwickelt, zweitens weil die bewegende Kraft, der Magnetismus des kleinen Magneten, mit dem Momente, wo die Feder bei ihrer Bewegung nach unten die bekannte Spitze der Stellschraube verlässt, zu wirken aufhört. Von diesem Augenblick ab schwingt die Feder nur vermöge ihrer Trägheit weiter abwärts; die Grösse der Bewegung ist so gering, dass letztere durch den kleinsten Widerstand aufgehoben wird. Beide Uebelstände sind an einem Instrumente vermieden, welches, nach dem Wagner'schen Principe construirt von den Physikern benutzt wird, um in Stromeskreisen Unterbrechungen von in gewissen, recht weiten Grenzen beliebig veränderlicher Frequenz anbringen zu können. Aus der berühmten Werkstatt Halske's bezog ich einen solchen Unterbrecher (Fig. 3.), dessen Electromagnet für meine Zwecke von grösserer Stärke eingerichtet wurde, und mit dessen Anker ich ein Elfenbeinhämmerchen in Verbindung setzen liess. Schlug dieses auf den Nerven des Froschschenkels, welcher auf harter (übrigens nicht metallischer) Unterlage

---

1) Dove hat mit der Feder eines Magnetelectromotors Saiten in Verbindung gebracht, um sie in zählbare Schwingungen zu versetzen.

ruhte, so gerieth der Schenkel in den heftigsten Tetanus. Mit der Zeit, nach einigen Minuten nimmt dieser allmählig ab, um jedoch von Neuem in früherer Stärke hereinzubrechen, wenn eine mehr peripherisch gelegene Stelle des Nerven unter das Hämmerchen gebracht wurde. Um allmählig alle Puncte des Nerven von seinem centralen Ende an unter dem Hämmerchen durchführen zu können, um ferner dem Nerven eine möglichst unverrückbare Lage zu geben, so dass er den Schlägen des Hämmerchens nicht ausweichen kann, habe ich ein Tischchen mit daneben stehender Rolle anfertigen lassen. Beide Apparate, der Unterbrecher, wie das Tischchen, sind in Fig. 3 abgebildet.

Auf einem Mahagonibrette BB steht zunächst der Unterbrecher von Halske. Ueber einem kleinen Hufeisenmagneten MM, dessen Arme mit sechsfacher Drathlage umwickelt sind, schwebt ein Anker aus weichem Eisen, A, getragen von einem stark lakirten Metallbalken CC. Dieser Balken ist als Hebel drehbar um eine Stahlaxe, welche mit geringer Reibung in zwei Lagern geht, die von dem Messingpfeiler E getragen werden. Mit letzterem steht unter rechtem Winkel ein Arm I in Verbindung, welcher in einem Ring Q endet. Durch den Ring geht frei in verticaler Richtung eine Schraubenspindel PP, welche unten in einem festen Knopf S″ endet und auf welcher zwei Muttern S und S′ beweglich sind. Vom obern Ende der Spindel geht eine Spiralfeder aus hartem Stahl, F, zu dem Ende des Balkens CC. Durch Verschiebung der Schraubenmuttern S und S′ kann diese Spirale beliebig gespannt werden. Sobald nämlich die untere Mutter S′ bis an den Ring Q geschraubt ist, hat weitere Schraubenbewegung derselben eine Abwärtsbewegung der Spindel PP zur Folge, welche erst gehemmt wird, wenn die obere Mutter S an den Ring Q stösst. Letztere kann aber bis zum obern Ende der Spindel geschraubt

werden, so dass erst mit dieser die mögliche Spannung der Feder ihr Ende erreicht. Die Anspannung der Spirale hat eine Drehung des Balkens CC um seine Axe nur so lange zur Folge, bis dieser in seinem mittlern Theile an die Spitze der Stellschraube g stösst [1]). Letztere geht durch einen horizontalen Messingbalken, welcher an einem Ende durch den vertikalen Pfeiler T getragen wird. Der Pfeiler T hat an seinem untern Ende eine Klemmschraube b. Wird ein Ende einer inducirenden Spirale in diese Schraube geklemmt, ein andres in die Klemmschraube c, so ist die Spirale dadurch mit der Batterie, deren Pole bei a und e endigen, zu einem Kreise geschlossen. Da wir eine inducirende Spirale nicht brauchen, verbinden wir die Klemmschrauben b und c durch einen einfachen geraden Kupferdrath. Die letzte Schraube steht mit den Drathwindungen des Electromagneten an der untern Seite des Brettes in Verbindung, welche auf der andern Seite mit dem Messingstücke d communiciren: Auf diesem Stücke ruht mittelst Federdruck ein Messingarm H, welcher von der kurzen Säule W ausgeht und um diese als Axe drehbar ist. Mittelst des Elfenbeinknopfes K kann man den Arm von dem Stücke d fortbewegen, so dass hier eine Unterbrechungsstelle liegt. Endet nun der negative Pol einer Voltaischen Combination an der Schraube e, der positive Pol an der Schraube a, so nimmt der Strom folgenden Weg: Er geht durch E, ein Stück von CC, tritt in die Schraube g, geht durch V und T mittelst des Zwischendrathes nach c, durch die Windungen des Magneten nach d, von hier durch den Arm H nach e, wo der negative Batteriepol endet. Bei Schliessung der Kette zieht der Magnet den Arm A an und veranlasst eine Drehbewegung des Balkens CC um seine Axe. Doch

1) In der Zeichnung ist der Anker von dem Magneten angezogen, also die Spitze der Schraube g von dem Balken CC entfernt.

wird nicht gleich nach dem Beginne dieser Bewegung der Kreis unterbrochen. Denn unterhalb der Spitze der Schraube g befindet sich auf dem Balken eine Feder aus Neusilber f, deren eines Ende an denselben bei s fest angeschraubt, deren anderes Ende dagegen frei ist. Letzteres greift unter den Rand des Schraubenknopfes s', und je nachdem diese Schraube höher oder niedriger gestellt ist, kann die Feder eine grössere oder geringere Bewegung nach oben machen. Daraus entspringt für uns ein grosser Vortheil. Denn wenn sich der Anker abwärts bewegt und somit der Balken CC von der Schraubenspitze g entfernt, legt sich an diese die Feder f an und bleibt mit ihr noch eine gewisse Zeit in Berührung. Dadurch bleibt der Kreis längere Zeit geschlossen, der Magnetismus des Hufeisenmagneten längere Zeit erhalten, somit wirken auf den Anker längere Zeit beschleunigende Kräfte und er schwingt mit grösserer lebendiger Kraft, als wenn gleich beim Beginne der Bewegung der Kreis unterbrochen und der Magnetismus des Hufeisens dadurch aufgehoben würde. Die Dauer des Contactes der Feder f mit der Spitze g kann durch Veränderung des Standes der Schraube s innerhalb gewisser Grenzen beliebig verändert werden. Dies und die willkürlich veränderliche Spannung der Spiralfeder f macht es möglich, die Schwingungszahl des Ankers von einer leicht zählbaren Frequenz in beliebigen Abstufungen bis zu einer nicht unbeträchtlichen Höhe zu steigern. —

So weit ist das Instrument den Physikern bekannt. Um es nun für meine Zwecke einzurichten, habe ich den Balken CC über den Anker hinaus verlängern und mit einem Elfenbeinhämmerchen m versehen lassen. Das Hämmerchen ist 5mm lang und an seiner untern Kante durch eine gerade Fläche von der Form eines Rechteckes abgestumpft, dessen Breite 1,5mm beträgt. Seine Höhe bis zu der knopfförmig erweiterten Stelle, mittelst welcher es an den Balken befestigt ist, beträgt 3mm.

Unterhalb der Verlängerung des Balkens sieht man nun das Tischchen, welches zur festen Lagerung des Nerven dient. Auf demselben Mahagonibrette, auf welchem die einzelnen Theile des Unterbrechers angebracht sind, befindet sich eine Messingplatte P mit einem Schnitte U, in welchen eine Flügelschraube Q passt. Sie dient dazu, die Platte in beliebiger Richtung auf dem Brette festschrauben zu können. Die Platte trägt nun einen rechtwinklig gebogenen kurzen Messingpfeiler RR, an dessen horizontalem Arme in vertikaler Richtung ein Hohlcylinder aus Messing befestigt ist (z). In diesem geht ein zweiter Hohlcylinder z', [1]) an dessen unterem Ende ein kurzes Schraubengewinde sich befindet. Zu diesem Gewinde passt die lange Spindel der Schraube y. Wenn letztere gedreht wird, schiebt sich der Cylinder z' mittelst seines Gewindes auf der Spindel auf- oder abwärts. Um eine Axendrehung desselben zu verhüten, hat er in seiner äussern Wand eine Längsnut, in welche ein auf der innern Wand des Cylinders z befestigter Stift genau hineinpasst. —

Auf das obere Ende des Cylinders z' ist eine kleine Messingplatte 22 mm lang, 5,5mm breit, horizontal auf- und an diese eine eben so grosse und 1,15 mm dicke Elfenbeinplatte angeschraubt, die zwei niedrige Seitenleisten von 3 mm Höhe trägt, in einem Abstande von einander, welcher die Breite des Hämmerchens nicht viel übertrifft (beiläufig 2½ mm beträgt). Jede dieser Seitenleisten hat einen schmalen Schnitt (nur 1,15 mm breit.) In der Verticalebene, welche durch die Mitte beider Schnitte geht, liegt die rinnenförmig ausgehöhlte

1) Fig. IV. stellt den Hohlcylinder z' mit dem Tischchen und der Rolle, von hinten her gesehen, vor. Auf dem Cylinder sieht man die Längsnut verlaufen. Fig. V. ist im Durchschnitt durch den Cylinder z' so geführt, dass die Schraubenspindel sichtbar wird. An der Seite links oben sieht man den in die Längsnut des Cylinders z' passenden Stift. Dies zum Verständniss des Folgenden.

Peripherie einer kreisförmigen Messingplatte N, von 20mm Durchmesser, welche mit ziemlich bedeutender Reibung um eine Axe drehbar ist, die von einer am obern Ende des Cylinders z' befestigten Backe getragen wird. Eine Tangente an den obersten Punct der Rolle gelegt, fällt in die obere Fläche der Elfenbeinplatte des Tischchens. Am peripherischen Theile der Seitenfläche der Rolle befindet sich eine kleine Handhabe g, um die Drehung der Rolle leicht bewerkstelligen zu können; dieser entsprechend ist in der peripherischen Rinne der Rolle ein Korkstückchen angebracht, (welches sich in der Fig. deutlich markirt). — Um nun das Instrument zu benutzen, setzt man zuerst die Pole eines einfachen Daniell'schen oder besser Groveschen Elementes mit den Schrauben a und e in Verbindung und mittelt dann durch Veränderung der Spannung der Spirale F und der Stellung der Schraube g eine Schwingungsart des Ankers aus, bei welcher die Schläge des Hämmerchens von nicht zu unbedeutender Frequenz und von möglichst grosser Excursion sind. Dann stellt man, nachdem man für's Erste den Kreis bei d unterbrochen hat, vermittelst der Schraube Q das Tischchen so, dass der Hammer, wenn man den Anker auf den Magneten drückt, gerade die Elfenbeinplatte berührt, leicht zwischen den beiden seitlichen Leisten derselben durchgeht, ohne an eine derselben anzustossen, und dass die Mitte seiner Länge in die Verticalebene trifft, in welcher die Mitte der Schnitte der Seitenleisten des Tischchens liegt. Nachdem bei dieser Stellung des Tischchens die Platte P festgeschraubt ist, wird letzteres möglichst niedrig (durch Drehung der Schraube g) gestellt, so dass man zwischen dem Hammer und dem Tischchen Spielraum behält, um den Nerven mit Bequemlichkeit in die richtige Lage bringen zu können. Will man nun z. B. den Froschschenkel in Tetanus versetzen, so befestigt man denselben auf der dazu bestimmten Glasplatte des „all-

gemeinen Trägers“ von du Bois-Reymond, und zwar so, dass das obere Ende der tibia möglichst nahe an dem vorderen Rande dieser Glasplatte liegt, stellt den allgemeinen Träger dicht zu der freien Seite des Tischchens auf, an welcher sich die Rolle nicht befindet, bringt seine Platte in dieselbe Höhe mit letzterem und legt nun das oberste Stück des nv. ischiadicus in die Schnitte der Seitenleisten. Die Rolle wird so gestellt, dass ihre Handhabe e möglichst nahe an den obern Rand des Tischchens gedrückt ist, sodann das freie Ende des Nerven mittelst einer Insectennadel auf dem in der peripherischen Rinne der Rolle, nahe der Handhabe, befindlichen Korkstückchen festgesteckt. Nachdem Alles so weit vorbereitet ist, schliesst man den Stromeskreis bei d. Sofort beginnt der Anker sein Spiel. Dann wird das Tischchen durch die Schraube g in die Höhe bewegt, anfangs schnell, später, wenn der Hammer bei seinen Schlägen schon in den zwischen den Seitenleistchen des Tischchens befindlichen Raum trifft, langsam und mit äusserster Vorsicht. Dabei darf man nicht vergessen, den Höhenstand der Glasplatte, auf welcher der Schenkel befestigt ist, in entsprechender Weise zu ändern, um jede Zerrung des Nerven zu vermeiden. Schraubt man nun die Schraube g sehr allmählig in der früheren Richtung weiter, so berührt der Hammer, in seiner niedrigsten Stellung endlich den Nerven: man sieht schon einzelne Zuckungen des Schenkels. Noch eine Viertel- oder eine Halbdrehung der Schraube, und der Schenkel geräth in den heftigsten Tetanus, der anfangs, dem Augenscheine nach zu urtheilen, nicht schwächer als der electrische Tetanus ist. Während bei dem chemischen Tetanus und dem mechanischen, welcher sich mit du Bois-Reymond's Zahnrädchen herstellen lässt, einzelne Vibrationen der Muskelbündel des gastrocnemius und zappelnde Bewegungen der Fusszehen erscheinen, tritt in unserm Falle eine

völlig ruhige, continuirliche Streckung des Fussgelenkes und der Zehen, eine völlig gleichmässige tonische Contraction des Wadenmuskels ein. Unterbricht man den Stromeskreis durch Drehung dss Messinghebels H, so sinkt der Schenkel sofort in Ruhe, um bei erneuerter Schliessung von Neuem in tetanischen Zustand überzugehen. In voller Stärke hält der Tetanus etwa zwei Minuten an, um dann sehr allmählig abzunehmen. Jetzt braucht man nur die Rolle ein wenig mittelst der Handhabe g zu drehen und dadurch den nächsten peripherischen Theil des Nerven unter den Hammer zu bringen, um den Starrkrampf in seiner ersten Intensität wiederherzustellen. Dies lässt sich nun so oft wiederholen, bis der Nerv verbraucht ist, was bei dem Froschschenkelpräparate eine nicht unbeträchtliche Zeit währt.

Das Brett, auf welchem der Unterbrecher und das Tischchen befestigt ist, lässt sich nun mit Leichtigkeit in eine gewöhnliche Klemme schrauben und mittelst dieser dem ganzen Instrumente jede beliebige Lage ertheilen. Wenn man also einen Nerven an einem lebenden Thiere untersuchen will, so wird es nicht schwer halten, mittelst eines Magnus-schen Halters das Instrument in die nöthige Lage und Nähe an das Thier zu bringen. Selbst eine Umkehrung der Art, dass das Brett nach oben zu stehen kommt, hindert die Bewegung des Ankers gar nicht, weil die auf ihn unter diesen Umständen in entgegengesetzter Richtung, wie der Magnet, wirkende Schwerkraft unbeträchtlich ist gegen die Kraft, mit welcher er durch die elastische Wirkung der Spiralfeder F von dem Hufeisenmagneten fortgeschnellt wird. —

Worauf beruht nun der unter diesen Umständen herstellbare Tetanus? Es ist kaum möglich anzunehmen, dass die Erregung des Nerven von einer localen Zerstörung desselben direct abhängt. Denn dann würde nach den ersten Hammerschlägen, die eine kräftige Wirkung gehabt haben,

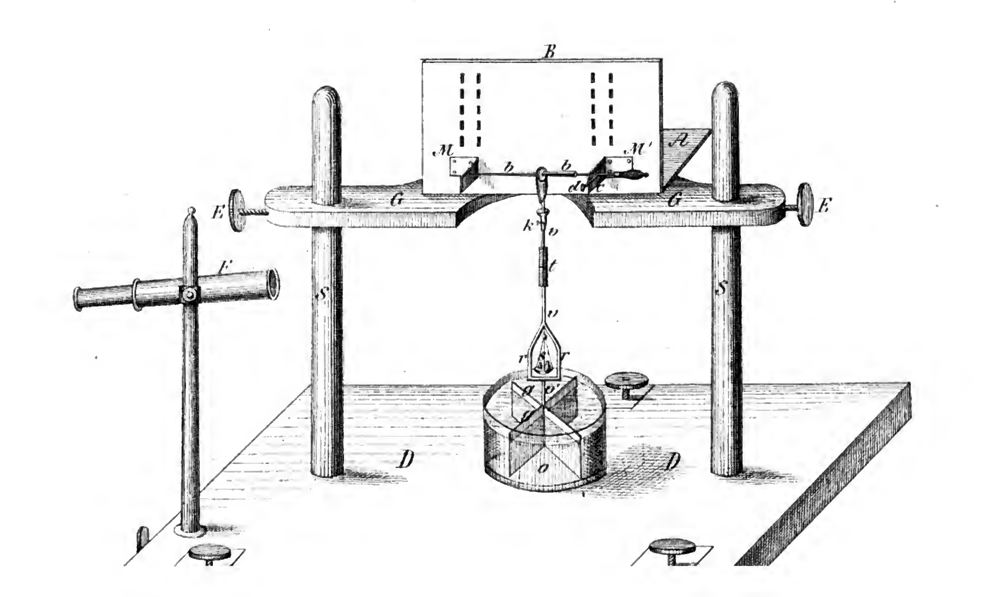
die gerade dem Hammer ausgesetzte Nervenstrecke unerregbar werden müssen. Wir haben aber gesehen, dass von einer ganz beschränkten Nervenstrecke aus, deren Länge der Breite der Basalfläche des Hammers gleich kommt, also 1,5 mm beträgt, zwei Minuten lang ein starker Tetanus und darüber hinaus noch ein schwächerer unterhalten werden kann. Hiernach ist es sehr bedenklich, die Nervenerregung von localer Zerstörung ableiten zu wollen. Mir scheint folgende Vorstellung zutreffender: Wenn eine elastische mit flüssigem Inhalte gefüllte Röhre an einer Stelle comprimirt wird, so entsteht in der Flüssigkeit eine positive Welle, bei Aufhebung des Druckes eine negative Welle, — hydrodynamische Phänomene, welche E. H. Weber genauer studirt hat [1]). Der Nerv ist nun ein Aggregat von elastischen Röhren mit flüssigem Inhalte von freilich zäher Beschaffenheit. Es scheint mir nicht unwahrscheinlich, dass in den Primitivfasern mit jedem Hammerschlage eine Welle erzeugt wird, welche die zur Entstehung des zuckungserregenden Vorganges nöthige Molecularbewegung einleitet. Man wird mir entgegnen, dass, wenn auf der blossen Entstehung von Wellen im Inhalte der Nervenröhren die Erregung beruhte, dass es dann möglich sein müsste, den Tetanus von einer einzigen kleinen Nervenstelle aus ins Unbegrenzte zu unterhalten. Doch ist die zähflüssige Beschaffenheit des Nerven in Betracht zu ziehen, welche es unmöglich macht, dass in der kurzen Zwischenzeit zwischen zwei Hammerschlägen die durch Compression theilweise entleerte Stelle sich wieder ganz füllt. Vielmehr wird die unmittelbar getroffene Stelle sich allmählig mehr und mehr entleeren, und damit die Möglichkeit, von dersel-

---

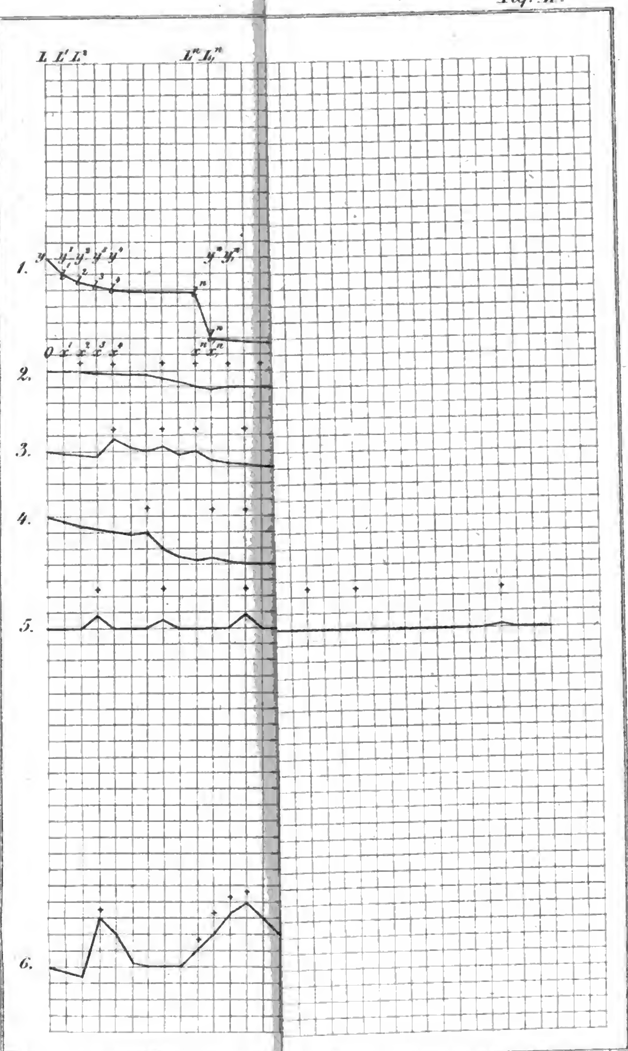
1) Cf. Ueber die Anwendung der Wellenlehre auf die Lehre vom Kreislaufe des Blutes etc. von E. H. Weber. Müller's Archiv 1851, S. 497 sq.

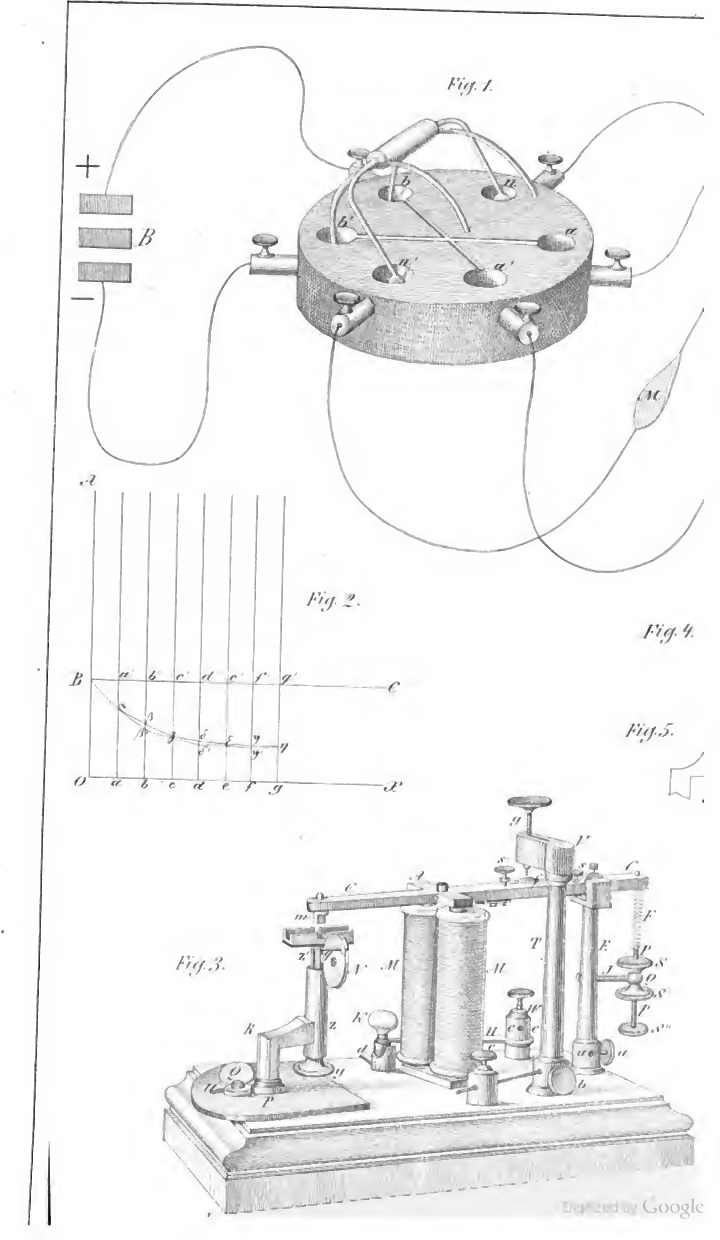
ben aus noch ferner zu erregen, aufgehoben werden. So würde dann der Nerv schliesslich ebenfalls örtlich destruirt, doch ist diese Destruction nicht unmittelbare Bedingung für den Eintritt des Zuckung erregenden Vorganges, sondern nur Folge der mechanischen Einwirkung, welche jenen Vorgang durch Erzeugung von Molecularbewegungen im Innern des Nerven herbeiführt.

Gedruckt bei Julius Sittenfeld in Berlin.


B
A
M
M'
b
b
d
c
G
G
E
E
k
v
t
v
r
r
F
S
S
D
D
o

Taf. II.




Fig. 1.
+
B
−
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Digitized by Google



